HZ BOOKS
华章教育

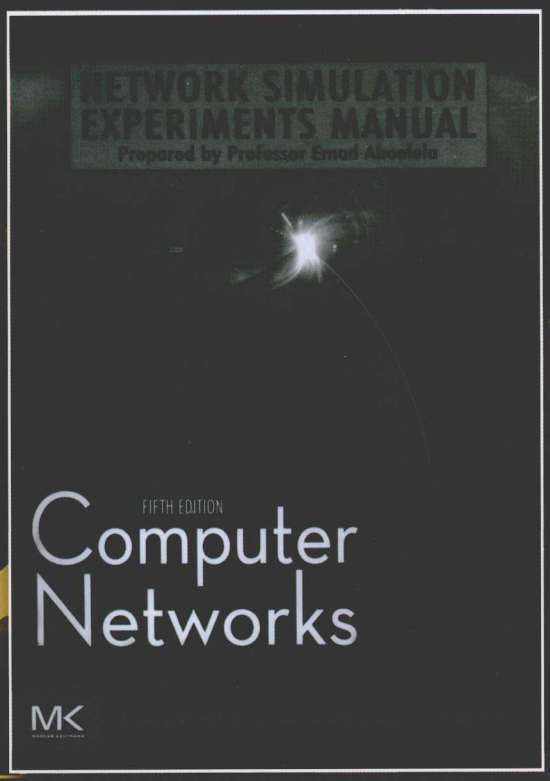
ELSEVIER
爱思唯尔

计 算 机 科 学 丛 书

计算机网络实验教程

Emad Aboelela 著 潘耘 译

Network Simulation Experiments Manual



机械工业出版社
China Machine Press

计算机网络实验教程

Network Simulation Experiments Manual

网络技术和概念通常比较复杂，即使通过详细的描述和深思熟虑的例子，也往往难以解释清楚。利用软件工具仿真网络的功能，为网络专业人员和学生创建可视化环境以展示网络是如何工作的，这是深入理解网络技术和概念的好方法。

本书进一步把这种仿真工具应用在网络课程的教学中，为核心网络拓扑结构中所应用的仿真环境提供了详细的实验指导。在每个拓扑中设置了不同的场景，并通过实验概览、进一步阅读、实验报告及练习等环节来加深理解。书中还指出了如何下载使用免费和易于安装的OPNET IT Guru学术版软件。该软件提供了一个用来对应用程序、服务器和网络技术等进行建模、分析和性能预测的虚拟环境。

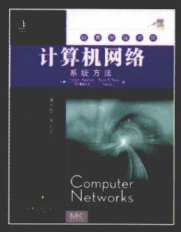
本书特色

- 内容丰富：实验覆盖了核心的网络技术，包括交换式局域网、网络设计、载波监听多路访问（CSMA）、路由信息协议（RIP）、传输控制协议（TCP）、排队准则和Web缓存等。
- 易于更新、扩展性强：教师可以在课堂上使用OPNET仿真工具对现有模型进行更新和扩展，以方便对更多示例和实际网络场景进行仿真。
- 广泛使用的优秀仿真软件：本书所使用的仿真软件是由OPNET公司编制的备受赞誉的软件，世界各地数以千计的商业和政府组织以及超过500所大学都在使用OPNET软件。
- 实用性强：能为有兴趣学习、评估不同商业网络产品（如Cisco路由器）的专业人士设计有用的实验。

作者简介

Emad Aboelela 在迈阿密大学（美国佛罗里达州）获得计算机工程博士学位，在埃及亚历山大大学工程学院获得计算机科学与自动控制学士和硕士学位。目前他是沙特阿拉伯Taibah大学的副教授。他在美国马萨诸塞大学达特茅斯分校做了6年的大学教员，在南康涅狄格州立大学工作了两年。Aboelela博士是IEEE和ACM的高级会员。他曾在2009年获特聘教授奖，1998年获年度学术成就奖。

本书中的实验与《计算机网络：系统方法》（第5版）的内容组织相一致。两者结合使用，更有利于理解计算机网络的功能及原理。



英文影印版
书号：978-7-111-37720-7
定价：139.00元

本书译自原版
Network Simulation Experiments Manual并由Elsevier授权出版

ELSEVIER
爱思唯尔

客服热线：(010) 88378991 88361066
购书热线：(010) 68326294 88379649 68995259
投稿热线：(010) 88379604

读者信箱：hzjsj@hzbook.com
华章网站：www.hzbook.com
网上购书：www.china-pub.com

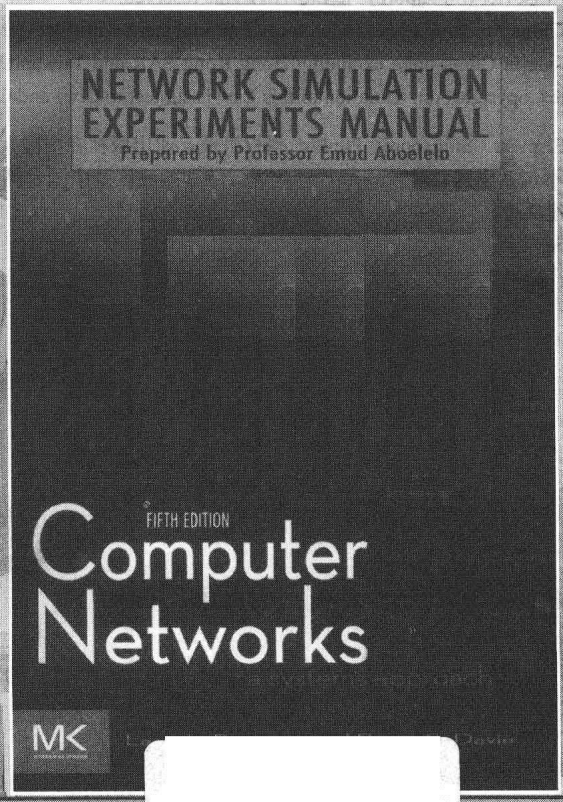
上架指导：计算机/网络
ISBN 978-7-111-41585-5
9 787111 415855 >
定价：45.00元

计 算 机 科 学 丛

计算机网络实验教程

Emad Aboelela 著　潘耘 译

Network Simulation Experiments Manual



机械工业出版社
China Machine Press

图书在版编目（CIP）数据

计算机网络实验教程 / 阿布勒拉（Aboelela，E.）著；潘耘译 .—北京：机械工业出版社，2013.3
（计算机科学丛书）
书名原文：Network Simulation Experiments Manual

ISBN 978-7-111-41585-5

Ⅰ.计… Ⅱ.①阿… ②潘… Ⅲ.计算机网络—实验—教材 Ⅳ.TP393-33

中国版本图书馆 CIP 数据核字（2013）第 034481 号

版权所有·侵权必究
封底无防伪标均为盗版
本书法律顾问 北京市展达律师事务所

本书版权登记号：图字：01-2012-6857

本书应用免费的 OPNET IT Guru 学术版，以一种创造性的方式教授计算机网络知识。本书包含 15 个实验和两个附录，不但包括验证计算机网络基本原理的实验，如路由信息协议 RIP、开放式最短路径优先 OSPF、传输控制协议 TCP 等，还包括一些当前的研究热点，如移动无线网络、排队准则、资源预留协议 RSVP、防火墙和 VPN 等。每个实验都配有练习题，便于学生理解实验的内容。

本书是一本通俗、直观、全面介绍计算机网络实验的优秀教程，适用于本科生或者低年级研究生一个学期的计算机网络实验课程。

Emad Aboelela: Network Simulation Experiments Manual (ISBN 978-0-12-385210-6).
Copyright © 2012 by Elsevier Inc. All rights reserved.
Authorized Simplified Chinese translation edition published by the Proprietor.
Copyright © 2013 by Elsevier (Singapore) Pte Ltd. All rights reserved.
Printed in China by China Machine Press under special arrangement with Elsevier (Singapore) Pte Ltd. This edition is authorized for sale in China only, excluding Hong Kong SAR and Taiwan.Unauthorized export of this edition is a violation of the Copyright Act. Violation of this Law is subject to Civil and Criminal Penalties.

本书简体中文版由 Elsevier（Singapore）Pte Ltd. 授权机械工业出版社在中国大陆境内独家出版和发行。本版仅限在中国境内（不包括中国香港特别行政区、澳门特别行政区及中国台湾地区）出版及标价销售。未经许可之出口，视为违反著作权法，将受法律之制裁。

本书封底贴有 Elsevier 防伪标签，无标签者不得销售。

机械工业出版社（北京市西城区百万庄大街 22 号 邮政编码 100037）
责任编辑：盛思源
北京诚信伟业印刷有限公司印刷
2013 年 5 月第 1 版第 1 次印刷
185mm × 260mm • 14.25 印张
标准书号：ISBN 978-7-111-41585-5
定 价：45.00 元

凡购本书，如有缺页、倒页、脱页，由本社发行部调换
客服热线：（010）88378991 88361066 投稿热线：（010）88379604
购书热线：（010）68326294 88379649 68995259 读者信箱：hzjsj@hzbook.com

文艺复兴以降，源远流长的科学精神和逐步形成的学术规范，使西方国家在自然科学的各个领域取得了垄断性的优势；也正是这样的传统，使美国在信息技术发展的六十多年间名家辈出、独领风骚。在商业化的进程中，美国的产业界与教育界越来越紧密地结合，计算机学科中的许多泰山北斗同时身处科研和教学的最前线，由此而产生的经典科学著作，不仅擘划了研究的范畴，还揭示了学术的源变，既遵循学术规范，又自有学者个性，其价值并不会因年月的流逝而减退。

近年，在全球信息化大潮的推动下，我国的计算机产业发展迅猛，对专业人才的需求日益迫切。这对计算机教育界和出版界都既是机遇，也是挑战；而专业教材的建设在教育战略上显得举足轻重。在我国信息技术发展时间较短的现状下，美国等发达国家在其计算机科学发展的几十年间积淀和发展的经典教材仍有许多值得借鉴之处。因此，引进一批国外优秀计算机教材将对我国计算机教育事业的发展起到积极的推动作用，也是与世界接轨、建设真正的世界一流大学的必由之路。

机械工业出版社华章公司较早意识到“出版要为教育服务”。自 1998 年开始，我们就将工作重点放在了遴选、移译国外优秀教材上。经过多年的不懈努力，我们与 Pearson，McGraw-Hill，Elsevier，MIT，John Wiley & Sons，Cengage 等世界著名出版公司建立了良好的合作关系，从他们现有的数百种教材中甄选出 Andrew S. Tanenbaum，Bjarne Stroustrup，Brain W. Kernighan，Dennis Ritchie，Jim Gray，Afred V. Aho，John E. Hopcroft，Jeffrey D. Ullman，Abraham Silberschatz，William Stallings，Donald E. Knuth，John L. Hennessy，Larry L. Peterson 等大师名家的一批经典作品，以“计算机科学丛书”为总称出版，供读者学习、研究及珍藏。大理石纹理的封面，也正体现了这套丛书的品位和格调。

“计算机科学丛书”的出版工作得到了国内外学者的鼎力襄助，国内的专家不仅提供了中肯的选题指导，还不辞劳苦地担任了翻译和审校的工作；而原书的作者也相当关注其作品在中国的传播，有的还专程为其书的中译本作序。迄今，“计算机科学丛书”已经出版了近两百个品种，这些书籍在读者中树立了良好的口碑，并被许多高校采用为正式教材和参考书籍。其影印版“经典原版书库”作为姊妹篇也被越来越多实施双语教学的学校所采用。

权威的作者、经典的教材、一流的译者、严格的审校、精细的编辑，这些因素使我们的图书有了质量的保证。随着计算机科学与技术专业学科建设的不断完善和教材改革的逐渐深化，教育界对国外计算机教材的需求和应用都将步入一个新的阶段，我们的目标是尽善尽美，而反馈的意见正是我们达到这一终极目标的重要帮助。华章公司欢迎老师和读者对我们的工作提出建议或给予指正，我们的联系方法如下：

华章网站： www.hzbook.com
电子邮件： hzjsj@hzbook.com
联系电话：（010）88379604
联系地址： 北京市西城区百万庄南街 1 号
邮政编码： 100037

HZ BOOKS
华章教育
华章科技图书出版中心

我有幸翻译了 Emad Aboelela 博士的这本著作。这是一本通俗、直观、全面介绍计算机网络实验的优秀教程。作者巧妙应用免费的 OPNET IT Guru 学术版，以一种创造性的方式教授计算机网络知识。实验内容丰富，不但包括验证计算机网络基本原理的实验，如路由信息协议 RIP、开放式最短路径优先 OSPF、传输控制协议 TCP 等，还包括一些当前的研究热点，如移动无线网络、排队准则、资源预留协议 RSVP、防火墙和 VPN 等。

网络实验是学习计算机网络原理不可或缺的重要环节，一本好的实验指导书将对计算机网络原理的学习起到至关重要的作用。OPNET IT Guru 学术版的图形化界面使用简单，Emad Aboelela 博士将实验设计得很巧妙，通过不同场景的对比加深大家对计算机网络原理的理解，课后练习题的设计也独具匠心。可以毫不夸张地说，通过这些实验，学生对计算机网络的理解会有质的飞跃。而这种感受已在我的本科生和研究生的计算机网络教学工作中有深刻的体会。这也是我愿意花费时间和精力翻译此书的真正动力，谨以此表示对本书作者 Emad Aboelela 博士的敬佩。我们慎重地将这本书推荐给读者，并深信读者做完该书中的实验一定会受益匪浅。

本书是由中国传媒大学计算机学院潘耘负责翻译的。在此特别感谢为本书翻译做出重要贡献的吴燕秋同学，同时感谢沈延斌、王琳琳、李晋凯、王琨、于亚芳、方驰等同学为本书大量实验的验证所做出的贡献。限于水平和经验，译文中欠妥之处敬请读者批评指正。

欢迎阅读本书。随着网络系统变得越来越复杂、越来越庞大，学生和专业人士在学习计算机网络时动手做一些网络仿真实验，对于理解计算机网络的一些关键主题是非常有必要的。仿真方法能够提供符合各种预期特征的虚拟网络环境（例如，基于特定标准对网络建模），并基于此虚拟环境对网络在不同场景下的性能进行分析，因此仿真方法非常有用。

本书共包含 15 个实验。这些实验讨论了各种网络设计和网络协议，做这些实验并不需要有编程基础。这些实验都是通用的，可以很容易扩展以便在其基础上使用新技术和新网络标准。OPNET IT Guru 学术版是一款免费且易于安装的软件，学习和研究网络的学生和专业人士能够方便地在家里或者工作场所用它来做实验。本书适合本科生或者低年级研究生一个学期的计算机网络实验课程学习，教师可以挑选一些符合课程内容的实验。本书中的实验顺序与教科书——《计算机网络：系统方法》（第 5 版）内容相一致。不过，教师也可以按照自己的教学大纲来安排实验顺序。

本书中的虚拟局域网实验、Web 缓存和数据压缩实验是新加入的。在虚拟局域网实验中，学生将学习如何使用虚拟局域网技术把一个物理网络划分成多个独立的逻辑网络，以减少网络冲突域，增强网络安全性。在 Web 缓存和数据压缩实验中，学生将学习 Web 缓存和数据压缩对访问网页的响应时间以及 Web 服务器负载的影响。本书附录中还包含了两个实验：令牌环网实验在附录 A 中，异步传输模式实验在附录 B 中。虽然这两个实验的话题有些过时，但有些老师还需要讲解涉及这两个实验的协议原理，所以它们被保留了下来。

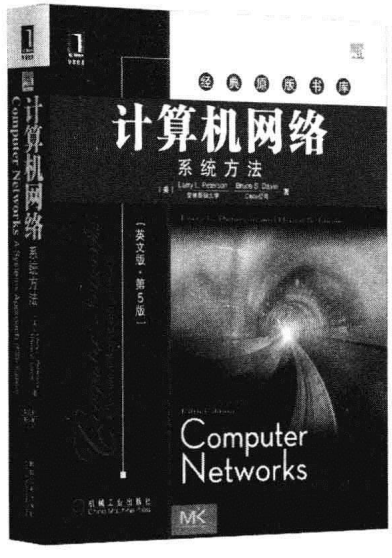
本书引入 Net-SEAL 项目（www.net-seal.net）[⊖]中的动画作为参考，这些动画能够加强学生对实验相关概念的理解。

感谢 Larry Peterson 教授和 Bruce Davie 博士给我这个机会，让我为他们宝贵的教科书编写配套的实验手册。感谢 Morgan Kaufmann 的工作人员帮助我完成了这项工程。最后，感谢你选择这本实验手册，欢迎你发邮件告诉我书中的错误或者向我提出改进建议。

Emad Aboelela 博士，沙特阿拉伯 Taibah 大学
emad@computer.org
2011 年 1 月

⊖ www.net-seal.net 上的资料由美国国家科学基金会资助（批准号：DUE-0536388）。该网站上的任何观点、发现、结论或者建议都属于 Net-SEAL 项目组，并不代表美国国家科学基金会。

推荐阅读



计算机网络：系统方法（英文版·第5版）

作者：Larry L. Peterson Bruce S. Davie ISBN：978-7-111-37720-7 定价：139.00元

本书采用系统方法讲解计算机网络基本理论及其应用，不仅教授读者知其然，更要知其所以然：本版中，作者对内容进行了全面更新和修订，与时俱进，更加强调应用设计、无线技术和移动技术。

——David Clark，因特网先驱，MIT教授

Peterson和Davie清晰地描述了各层网络协议，并且在书中给出许多注释边框，来帮助读者更深入、全面地理解深刻影响我们这个社会的各种技术。

——Jean Walrand，加州大学伯克利分校

本书是计算机网络方面的经典教科书，凝聚了两位顶尖网络专家几十年的理论研究、实践经验和大量第一手资料，自出版以来已经成为网络课程主流教材，被哈佛大学、斯坦福大学、卡内基-梅隆大学、康奈尔大学、普林斯顿大学等众多名校采用。第5版秉承了前4版的特点，通过丰富的网络和协议设计实例，来阐述计算机网络关键原理。全书的重点在于“为什么这样设计网络”——不仅详细叙述当今网络系统的组成，而且还阐述关键技术和协议如何在实际应用中发挥作用，从而解决具体的问题。本版对内容进行了全面更新，覆盖p2p、无线技术、网络安全和应用等重要主题，更关注网络研究和设计中涉及的应用层问题。

TCP/IP详解 卷1：协议（英文版·第2版）

作者：Kevin R. Fall 等 ISBN：978-7-111-38228-7 定价：129.00元

计算机网络（英文版·第5版）

作者：Andrew S. Tanenbaum等 ISBN：978-7-111-35925-8 定价：99.00元

计算机网络自顶向下方法（原书第4版）

作者：James F. Kurose 等 ISBN：978-7-111-16505-7 定价：66.00元

计算机网络教程：自顶向下方法

作者：Behrouz A. Forouzan 等 中文版：978-7-111-40088-2 定价：99.00元
英文版：978-7-111-37430-5 定价：79.00元

教师服务登记表

尊敬的老师：

您好！感谢您购买我们出版的_____教材。

机械工业出版社华章公司为了进一步加强与高校教师的联系与沟通，更好地为高校教师服务，特制此表，请您填妥后发回给我们，我们将定期向您寄送华章公司最新的图书出版信息！感谢合作！

个人资料（请用正楷完整填写）

教师姓名		□先生 □女士	出生年月		职务		职称：□教授 □副教授 □讲师 □助教 □其他
学校			学院			系别	
联系电话	办公： 宅电： 移动：			联系地址及邮编			
				E-mail			
学历		毕业院校		国外进修及讲学经历			
研究领域							

主讲课程	现用教材名	作者及出版社	共同授课教师	教材满意度
课程： □专 □本 □研 人数： 学期：□春□秋				□满意 □一般 □不满意 □希望更换
课程： □专 □本 □研 人数： 学期：□春□秋				□满意 □一般 □不满意 □希望更换

样书申请			
已出版著作		已出版译作	
是否愿意从事翻译/著作工作 □是 □否		方向	
意见和建议			

填妥后请选择以下任何一种方式将此表返回：（如方便请赐名片）

地 址：北京市西城区百万庄南街1号 华章公司营销中心 邮编：100037

电 话：(010) 68353079 88378995 传真：(010)68995260

E-mail:hzedu@hzbook.com marketing@hzbook.com 图书详情可登录http://www.hzbook.com网站查询

目　录

Network Simulation Experiments Manual

出版者的话

译者序

前言

实验基础　OPNET IT Guru（学术版）软件使用说明 …… 1

实验一　载波监听多路访问 …… 6

实验二　无线局域网 …… 19

实验三　交换式局域网 …… 32

实验四　虚拟局域网 …… 42

实验五　网络设计 …… 55

实验六　路由信息协议 …… 65

实验七　开放式最短路径优先 …… 78

实验八　边界网关协议 …… 90

实验九　移动无线网络 …… 105

实验十　传输控制协议 …… 117

实验十一　排队准则 …… 128

实验十二　资源预留协议 …… 142

实验十三　防火墙和VPN …… 159

实验十四　应用 …… 170

实验十五　Web缓存和数据压缩 …… 183

附录A　令牌环网 …… 194

附录B　异步传输模式 …… 208

OPNET IT Guru（学术版）软件使用说明

实验目的

本实验的目的是帮助学生尽快掌握 OPNET IT Guru 学术版的基本功能。OPNET IT Guru 学术版能让学生更好地理解网络的核心概念，帮助他们有效地排除网络故障，管理实际环境中的网络基础设施。

实验概览

OPNET IT Guru 提供了一个虚拟的网络环境，它对整个网络的行为建立模型，包括路由器、交换机、协议、服务器和单个应用。通过这个虚拟的网络环境，IT 经理、网络和系统规划人员、操作人员能够更加有效地诊断遇到的棘手问题，在实施网络设计方案之前就对可能的变化和未来的场景进行验证和规划。

IT Guru 的 OPNET 应用特性描述环境（Application Characterization Environment, ACE）模块能够帮助企业分析影响端到端应用性能的根本原因，获知对现有网络的改变可能带来的影响，进而确定经济有效的解决方案。

在本实验中，你将学习 OPNET IT Guru 学术版软件的基本功能，学习如何启动以及运行该软件。通过运行 OPNET IT Guru 自带的教程，你将熟悉该软件的功能。

本书中的实验将在 OPNET IT Guru 学术版 release 9.1.A 上运行。如果你想下载该软件，访问下面的网址，并进行注册：www.opnet.com/university_program/itguru_academic_edition/。

关于系统配置、平台和软件的建议：

- 1.5GHz 或以上的处理器，512MB ～ 2GB 的 RAM 以及 1GB 的磁盘空间。
- 显示器：1024 × 768 或更高的分辨率，256 色（或更高）。
- Adobe Acrobat 阅读器。
- 建议使用以下操作系统版本：
  - Microsoft Windows NT（Service Pack 3、5 或者 6a）。
  - Windows 2000（建议使用 Service Pack 1、2、4，但这些不是必需的）。
  - Windows XP（必须使用 Service Pack 1 或者 2）。
  - Windows Vista（必须使用 Service Pack 1）。

实验前的准备

- 阅读《计算机网络：系统方法》[⊖]第 5 版的第 1 章。
- 访问 www.net-seal.net，播放如下动画：
  - 没有网络（No Network）。

实验步骤

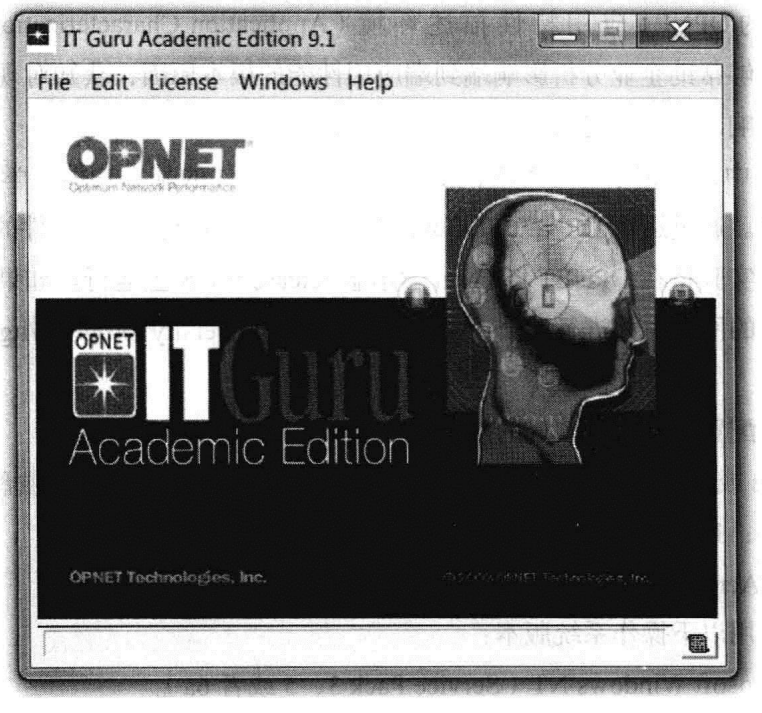
启动 OPNET IT Guru 学术版

请按下面的步骤启动 OPNET IT Guru 学术版：

1）单击“**开始**”（Start）→“**所有程序**”（All Programs）→ 选择“**OPNET IT Guru 学术 x.x 版**”（OPNET IT Guru Academic Edition x.x）→ 启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）（**注**：x.x 是软件的版本号（例如 9.1 版本））。

2）阅读“**限制使用协议**”（Restricted Use Agreement）。如果同意该协议，单击“**我已阅读了该软件协议，理解并接受相关条款**”（I have read this SOFTWARE AGREEMENT and I understand and accept the terms and conditions described herein）。

现在你会看见如下图所示的 OPNET IT Guru 学术版的启动窗口：



⊖ 本书影印版已由机械工业出版社出版，书号：978-7-111-37720-7；本书中文版也将由机械工业出版社出版。——编辑注。

检查 OPNET 首选项

OPNET 的首选项允许你显示和编辑环境属性，这些属性将控制 OPNET 程序的运行。在本实验中，你将检查如下三个属性：

1）启动 OPNET 后，在“**编辑**”（Edit）菜单中，选择“**首选项**”（Preferences）。

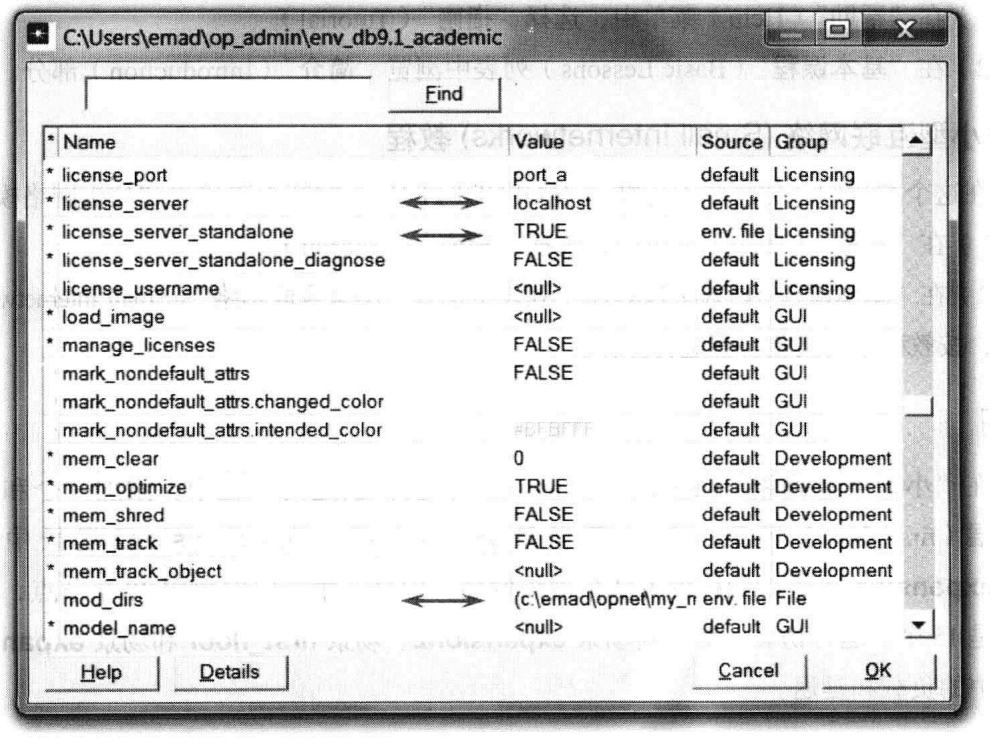
2）列表中的环境属性按名称的字母顺序排列。在“**查找**”（Find）域中输入属性名称的任何一部分，就可方便快捷地定位属性。

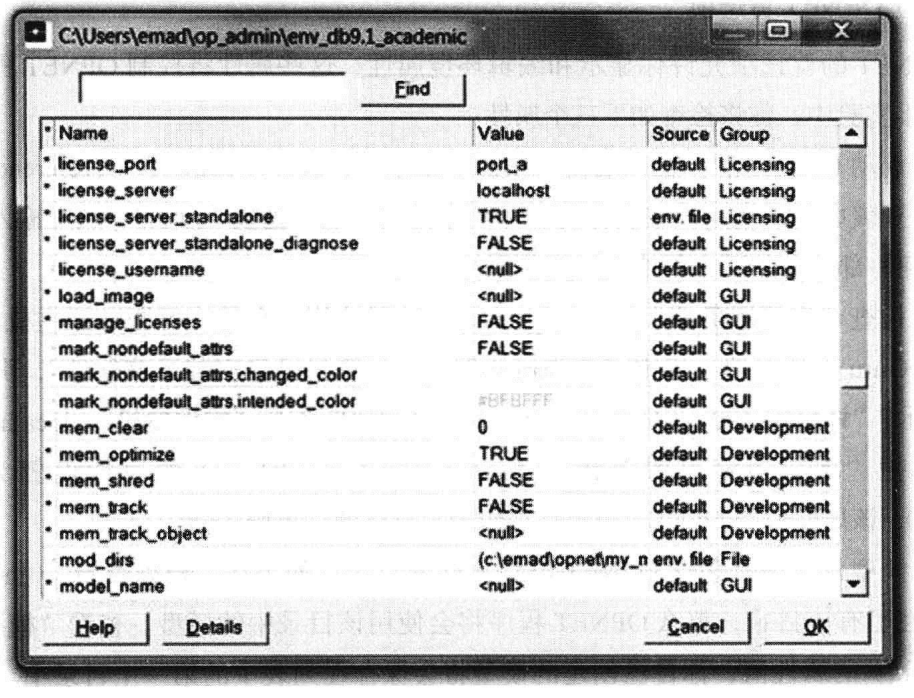
3）检查“**许可服务器**”（license_server）的属性值，它是许可服务器主机的名称。如果 IT Guru 正从本地主机中获取许可（例如，计算机已经安装了该软件），那么，如下图所示，“**许可服务器**”（license_server）的属性值应该是“**本地主机**”（localhost）。

4）把“**单机版许可服务器**”（license_server_standalone）的属性设置为“**真**”（TRUE），该属性表明 OPNET 程序是否作为它自己的许可服务器。

5）模型目录就是包含 OPNET 模型文件的目录，如果在“**模型目录**”（mod_dirs）环境属性里有该目录，那么 OPNET 程序将会使用该目录中的模型。查看“**模型目录**”（mod_dirs）的属性值，你自己创建的模型将会保存在列表中的第一个目录中。将来你也许会访问这个目录，对模型进行备份、复制或者迁移。IT Guru 为你创建的每一个工程保存了大量文件。

6）单击“**确定**”（OK），关闭对话框。





运行简介教程

现在，运行简介教程，该教程讲解 OPNET IT Guru 的使用基础。

1）在“**帮助**”（Help）菜单中，选择“**指南**”（Tutorial）。

2）在“**基本课程**”（Basic Lessons）列表中浏览“**简介**”（Introduction）部分。

运行小型互联网络 (Small Internetworks) 教程

在这个教程中，你将学习怎样运用 OPNET IT Guru 的特点来建立和分析网络模型。

1）在“**帮助**”（Help）菜单中，选择“**指南**”（Tutorial）。

2）在“**基本课程**”（Basic Lessons）列表中选择“**小型互联网络**”（Small Internetworks）教程，按教程中的实验步骤进行操作。

练习

在“**小型互联网络**”（Small Internetworks）教程创建的工程中，添加一个和**第一层**（first_floor）场景一样的新场景 **expansion2**。在 **expansion2** 场景中，用 **expansion** 场景中同样的方法扩展该网络，但是在第二层中使用 30 个节点，而不是 15 个。运行仿真，对比新场景 **expansion2**、场景 **first_floor** 和场景 **expansion** 中的负载和延迟。

实验报告

本书中所有实验的实验报告（包括这次的）应该包含以下部分：

- 实验报告封面，封面上写上姓名、课程信息、实验序号和标题，以及提交时间。
- 对实验的目的和讨论的主题进行总结。
- 对实验场景的实现过程做一个简短描述。
- 对实验中所收集的结果进行分析，并与预期结果进行对比。
- 给出实验结束部分练习题的答案。如果答案包含新的图表，应该写出对这些图表的分析。
- 对你在本次实验中所学习到的知识、遇到的困难，以及对任何有关实验的改进建议或者意见进行总结。

载波监听多路访问

带有介质访问控制的直连型网络

实验目的

本实验的目的是演示以太网的工作过程，通过仿真实验检验以太网在不同场景下的性能差异。

实验概览

以太网（Ethernet）是一种普遍使用载波监听多路访问 / 冲突检测（Carrier Sense Multiple Access with Collision Detect，CSMA/CD）局域网技术的典型例子。以太网的“多路访问”是指网络中的节点通过共享链路来发送和接收帧；“载波监听”是指网络中的所有节点都能区分链路是否空闲；“冲突检测”是指节点在传输帧的同时对信道进行监听，因而能够检测出正在传输的帧是否与其他节点传输的帧产生了干扰（冲突）。当适配器发现忙碌的信道变为空闲时，它发送数据的概率为 1，所以以太网是 1 持续的（1-persistent）。

在本实验中，你将建立一个总线形拓扑结构的以太网，该网络由 30 个节点通过同轴电缆连接而成，其中同轴电缆的数据传输速率是 10Mbps。你将研究网络负载和数据包的大小是如何影响网络吞吐量的。

实验前的准备

阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 2.6 节。

访问 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 集线器（Hub）。

实验步骤

创建新工程

为以太网创建一个新工程：

1）启动“OPNET IT Guru 学术版”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“文

件”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为“<your initials>_Ethernet”，将场景命名为“Coax”→单击“**确定**”（OK）。（**注**：工程名前缀 < your initials> 应由你自己来指定，以便于将该工程与你创建的其他工程以及其他人创建的工程区别开来。）

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项→单击“**下一步**”（Next）→从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**办公室**”（Office）→单击“**下一步**”（Next）→设置“**X 范围**”（X Span）为 200，保持“**Y 范围**”（Y Span）为 100→单击“**下一步**”（Next）两次→单击“**确定**”（OK）。

4）关闭“**对象面板**”（Object Palette）对话框。

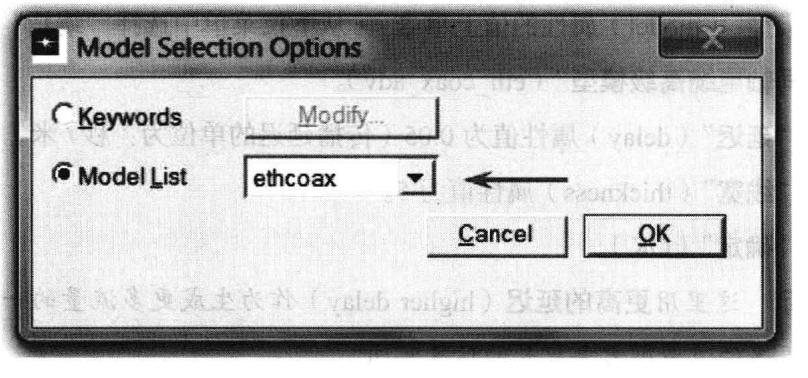
有益提示　局域网（Local Area Network，LAN）的设计范围不超过几千米。

创建网络

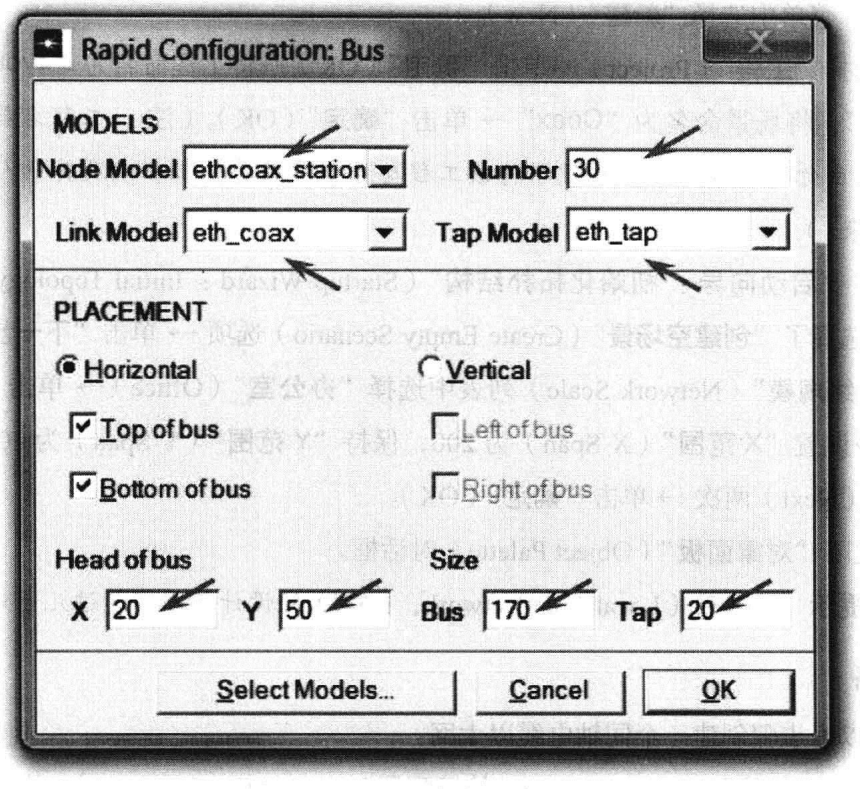
请按以下步骤创建一个同轴电缆以太网：

1）选择“**拓扑**”（Topology）→“**快速配置**”（Rapid Configuration），从下拉菜单中选择“**总线**”（Bus），单击“**确定**”（OK）。

2）在“**快速配置**”（Rapid Configuration）对话框中单击“**选择模型**”（Select Models）按钮。如下图所示，从“**模型列表**”（Model List）下拉菜单中选择“**以太网同轴电缆**”（ethcoax），单击“**确定**”（OK）。



3）在“**快速配置**”（Rapid Configuration）对话框中，设置如下图所示的 8 个参数，单击“**确定**”（OK）。



有益提示 **eth_tap** 代表以太网总线分接头，用来将节点连接到总线上。**eth_coax** 代表以太网总线，通过分接头连接节点与总线的收发器。

4）配置同轴总线的属性：在水平方向的链路上右击 → 选择菜单中的“**高级编辑属性**”（Advanced Edit Attributes）：

a. 在“**模型**”（model）属性的值上单击 → 从下拉菜单中选择“**编辑**”（Edit）→ 选择“**以太网同轴电缆高级模型**”（eth_coax_adv）。

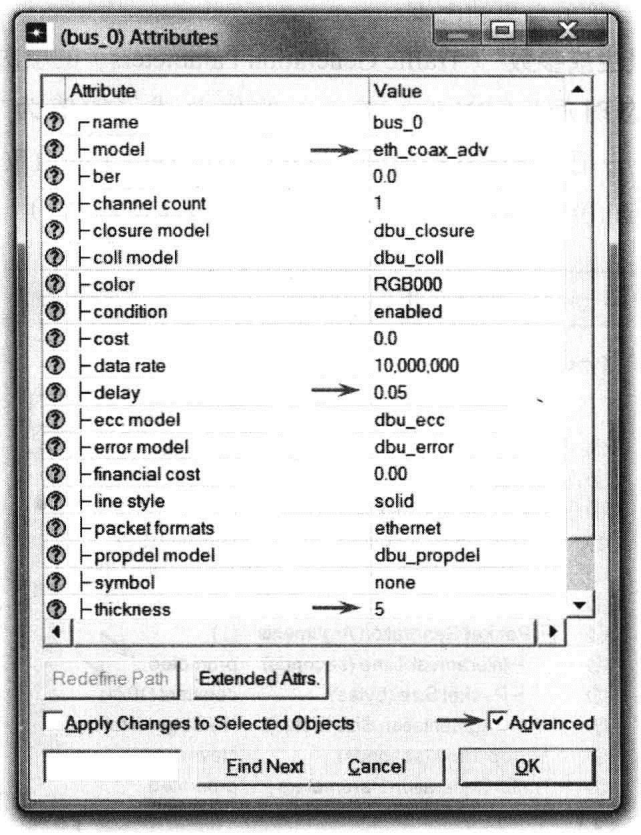
b. 设置“**延迟**”（delay）属性值为 0.05（传播延迟的单位为：秒 / 米）。

c. 设置“**线宽**”（thickness）属性值为 5。

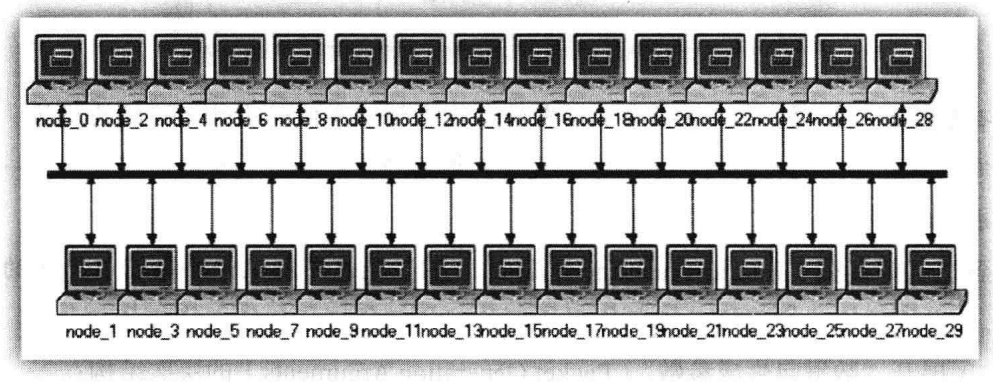
d. 单击“**确定**”（OK）。

有益提示 这里用**更高的延迟**（higher delay）作为生成更多流量的一种替代方法。若选择生成更多的流量则需要更长的仿真时间。

线宽（thickness）指的是“画”总线链路所用线条的宽度。



5）现在，如下图所示，你已经创建好了网络。



配置网络节点

请按以下步骤配置节点生成的流量：

1）在 30 个节点中任选一个，右击 → 选择“**选择相似的节点**”（Select Similar Nodes），这样就选择了网络中的所有 30 个节点。

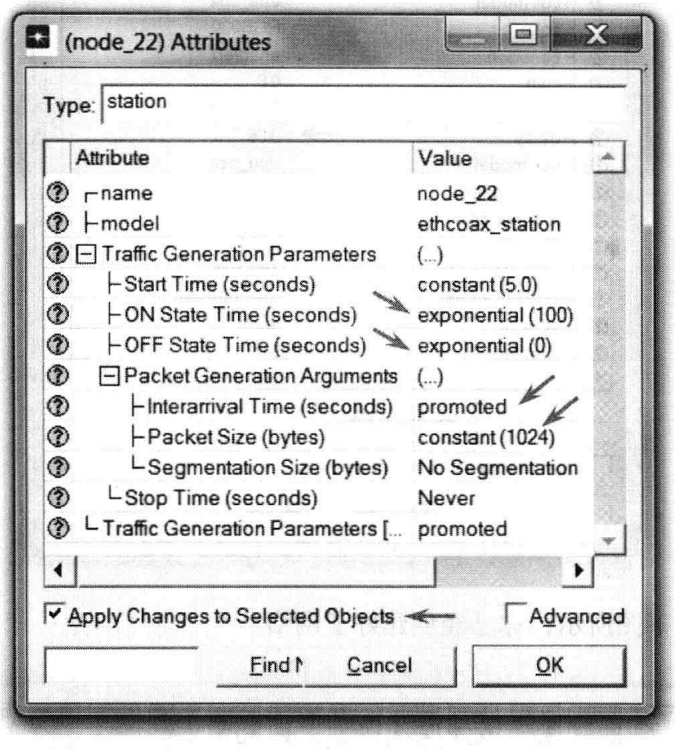
2）在 30 个节点中任选一个，右击 →选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

3）选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框，

这样可以避免为每一个节点重新配置。

4）展开“**流量生成参数**”（Traffic Generation Parameters）的层次结构：

把“**启动状态时间**”（ON State Time）的值改成“**均值为 100 的指数分布**”（exponential(100)）→把“**关闭状态时间**”（OFF State Time）的值改成“**均值为 0 的指数分布**”（exponential(0)）。（**注**：仅在“ON”状态时生成数据包。）



有益提示　指数（exponential）分布的参数是相继事件到达时间间隔的均值。在指数分布中，在给定的时间内，下一事件发生的概率与上一事件发生的时间或从上一事件起流逝的时间无关。

到达时间间隔（interarrival time）是在“ON”状态下相继两个数据包产生的时间间隔。

5）展开“**数据包生成参数**”（Packet Generation Arguments）的层次结构：

a．把“**数据包大小**”（Packet Size）的属性值改成“**常数 1024**”（constant(1024)）。

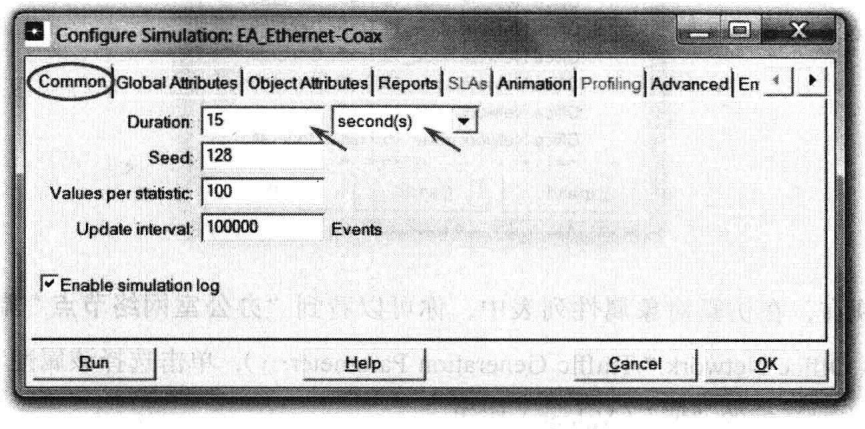
b．在“**到达时间间隔**”（Interarrival Time）属性上右击，选择“**提升属性到更高级别**”（Promote Attribute to Higher Level）。这就允许我们为到达时间间隔属性设置多个值，因而可以在不同负载下测试网络的性能。

6）单击“**确定**”（OK），返回到“**工程编辑器**”（Project Editor），“**保存**”（Save）工程。

配置仿真

需要通过改变网络的负载，多次运行仿真，以检查不同负载下的网络性能。下面给出一种简单的方法来完成这项工作。记得我们曾提升过数据包生成的“**到达时间间隔**”（Interarrival Time）属性。现在，我们为该属性设置不同的值：

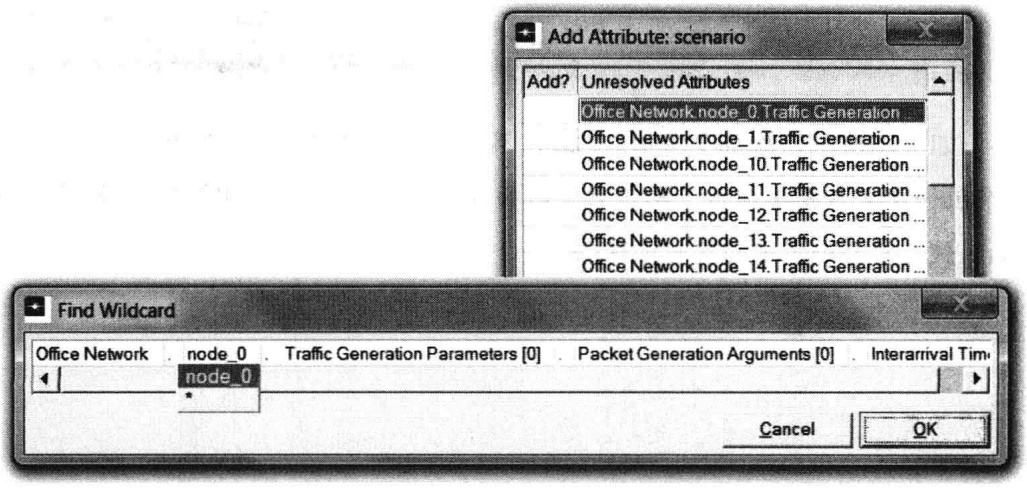
1）单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮 →确保已经选择了“**通用**”（Common）标签 → 把仿真“**持续时间**”（Duration）设置为 15 秒。



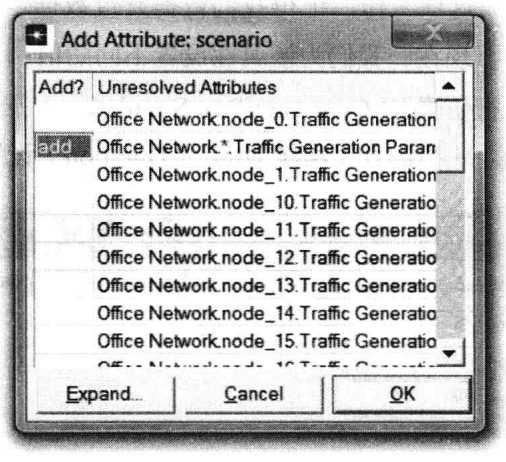
2）单击“**对象属性**”（Object Attributes）标签。

3）单击“**增加**”（Add）按钮。“**添加属性**”（Add Attribute）对话框应该出现，且已填好了网络中所有节点已提升的高级属性（如果你在列表中没有看见这些属性，那么请关闭整个工程，再重新打开）。按下面的步骤为所有节点添加“**到达时间间隔**”（Interarrival Time）属性：

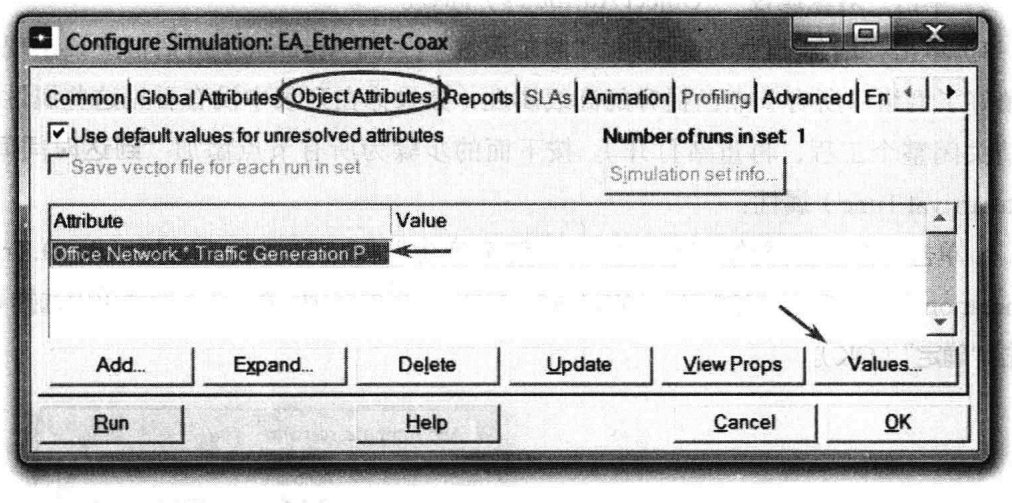
a. 单击“**办公室网络节点 node_0 流量产生**”（Office NetWork.node_0.Traffic Generation...）→ 单击“**通配符**”（Wildcard）按钮 → 单击 **node_0**，从下拉菜单中选择 (*) → 单击“**确定**”（OK）。



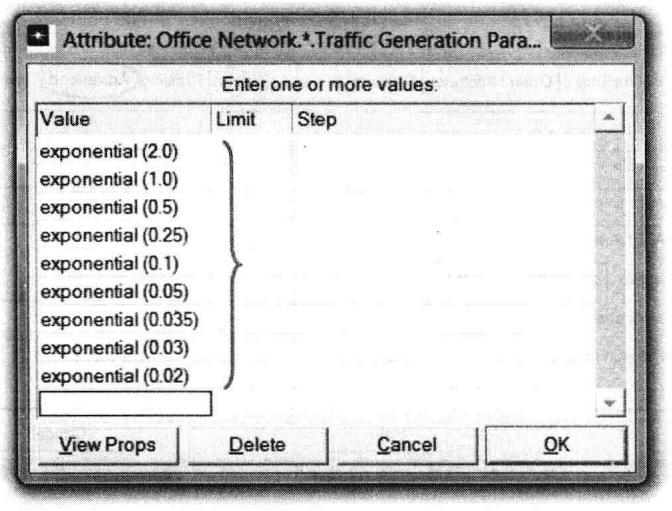
b. 现在，生成了一个含有 * 号的新属性（列表中第二个）。如下图所示，单击这个属性左边的空白部分 → 单击“**确定**”（OK）。



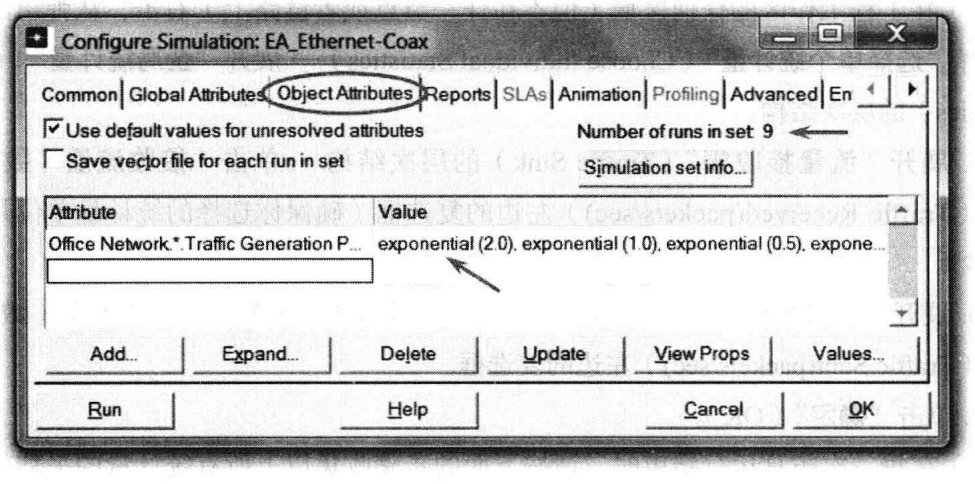
4）现在，在仿真对象属性列表中，你可以看到“**办公室网络节点 * 流量产生参数……**”（Office Network.*.Traffic Generation Parameter…），单击选择该属性 → 如下图所示，单击对话框的“**值**”（Values）按钮。



5）如下图所示，添加 9 个值。（**注**：双击“**值**”（Value）列的第一个单元，添加第一个值→在文本框中输入“均值为 2 的指数分布”（exponential(2)），并且按“**回车**”（Enter）键。对 9 个值重复这一过程。）



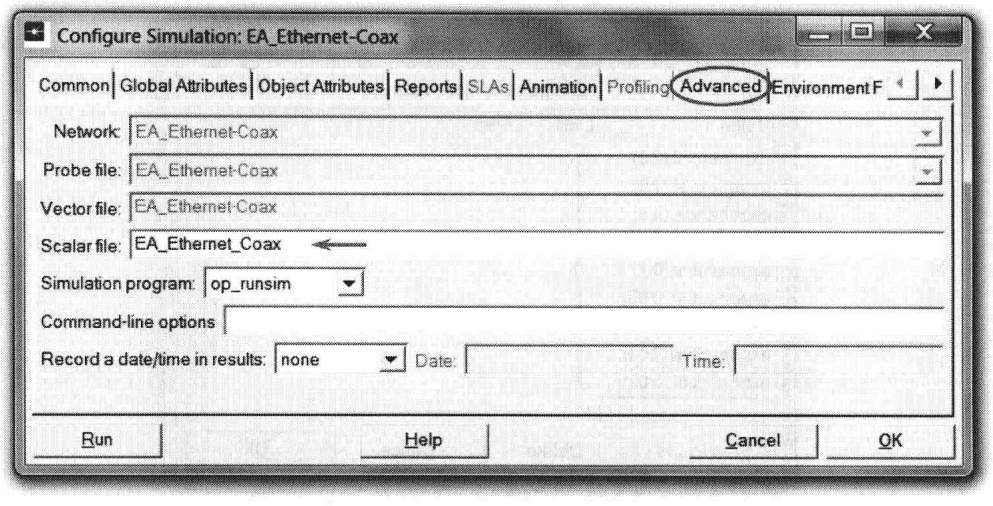
6）单击“**确定**”（OK）。现在，请看“**仿真配置**”（Simulation Configuration）对话框的右上角，确保这组仿真的“**运行次数**”（Number of runs）是 9。



7）对于这 9 次仿真中的任何一次，需要仿真器保存两个“标量”（scalar）值，其一代表网络中的“平均”负载；其二代表网络中的平均吞吐量。我们需要配置仿真器，把这些标量值保存在一个文件中。单击“**配置仿真**”（Configure Simulation）对话框中的“**高级**”（Advanced）标签。

8）在“**标量文件**”（Scalar file）文本域中输入 <your initials>_Ethernet_Coax。

9）单击“**确定**”（OK），然后保存工程。



选择统计量

请按如下步骤选择将要在仿真中收集的统计量：

1）在工程工作区的任何区域（但不在任一节点或者链路上）右击，从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→展开“**全局统计量**”（Global Statistics）的层次结构。

a. 展开“**流量接收端**”（Traffic Sink）的层次结构 →单击“**接收流量（数据包/秒）**”（Traffic Received(packets/sec)）左边的复选框（确保你选择的统计量单位是数据包/秒）。

b. 展开“**流量发送端**”（Traffic Source）的层次结构 → 单击“**发送流量（数据包/秒）**”（Traffic Sent(packets/sec)）左边的复选框。

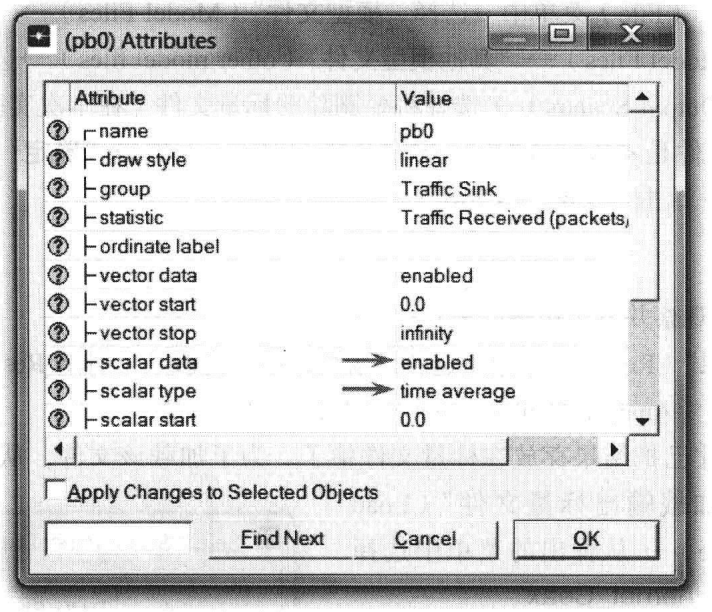
c. 单击“**确定**”（OK）。

2）在每一次仿真运行结束时，请按下面的步骤收集以上所有统计量的平均值作为标量值：

a. 从“**仿真**”（Simulation）菜单中选择“**选择统计量（高级）**”（Choose Statistics (Advanced)）。

b. 在“**全局统计量探针**”（Global Statistic Probes）下应出现“**发送流量**”（Traffic Sent）和“**接收流量**”（Traffic Received）。

c. 在“**接收流量**”（Traffic Received）探针上右击 → 选择“**编辑属性**”（Edit Attributes），把“**标量数据**”（scalar data）属性设置为“**有效的**”（enabled）→把“**标量类型**”（scalar type）属性设置为“**时间平均**”（time average）→ 与下图进行比较，单击“**确定**”（OK）。



d. 对“**发送流量**”（Traffic Sent）探针重复之前的步骤。

e. 在“**探针模型**”（Probe Model）窗口中的“**文件**”（File）菜单上选择“**保存**”（Save）。

f. 在“**探针模型**”（Probe Model）窗口中的“**文件**”（File）菜单上选择“**关闭**”（Close）。

3）现在，回到“**工程编辑器**”（Project Editor）。确保已经保存了工程。

有益提示　一个**探针**（probe）表示用户收集仿真中特定数据片段的一个请求。

运行仿真

请按如下步骤运行仿真：

1）单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮 → 确保仿真“**持续时间**”（Duration）设置为 **15 秒**（不是小时）→ 单击“**运行**”（Run）。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

2）现在，仿真器即将完成 9 次运行，每次仿真中的流量生成时间间隔（代表注入网络中的负载）都不同。注意，由于流量生成的密度不断加大，所以这 9 次仿真运行的时间一次比一次长。

3）这 9 次仿真运行完成以后，单击“**关闭**”（Close）。

4）“**保存**”（Save）工程。

当重新运行这个仿真时，OPNET IT Guru 将在标量文件中向已有的结果中“添加”新的结果。为了避免这种情况发生，在开始新的仿真之前，删除标量文件。（**注**：在一次运行完成后删除标量文件将导致本次运行中收集的结果丢失。）

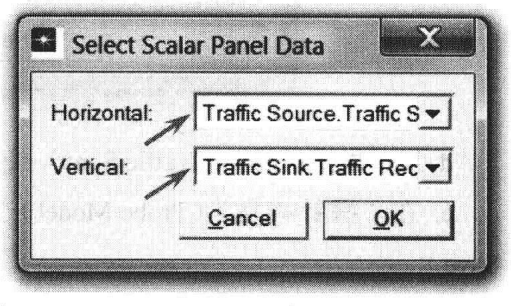
- 在“**文件**”（File）菜单中→选择“**模型文件**”（Model Files）→“**删除模型文件**”（Delete Model Files）→“**其他模型文件**”（other model files）→选择“**输出标量**”（(.os)：Output Scalars）→ 选择将要删除的标量文件（在本次实验中，将要删除的标量文件是 <your initials>_Ethernet_Coax）→ 单击“**确定**”（OK），确保文件删除 → 单击“**关闭**”（Close）。

观察结果

按以下步骤观察并分析仿真结果：

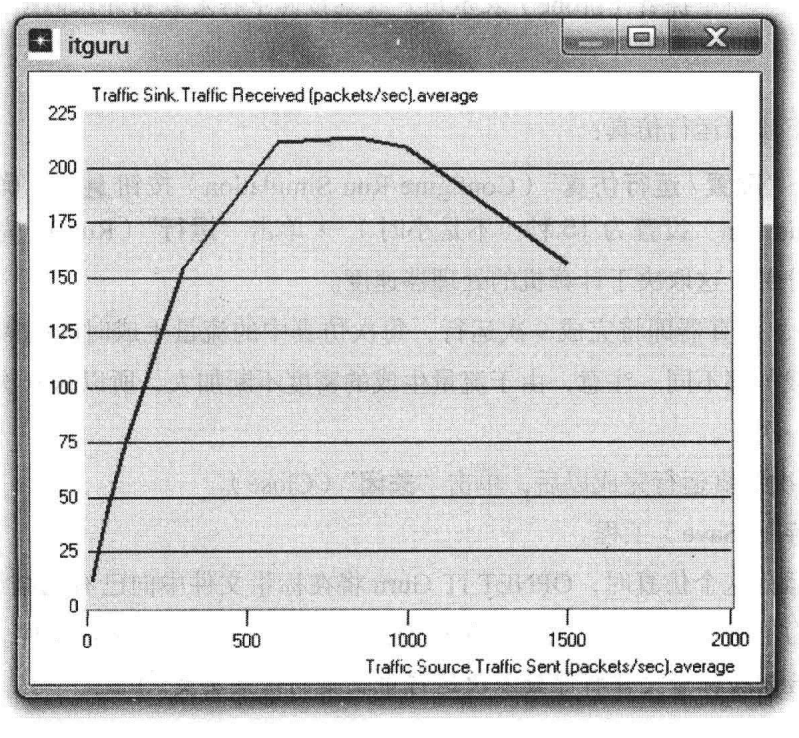
1）从“**结果**”（Results）菜单中选择“**观察结果（高级）**”（View Results(Advanced)）。现在“**分析配置**”（Analysis Configuration）工具已打开。

2）我们刚才已把结果存放在标量文件中了。为了加载该文件，从“**文件**”（File）菜单中选择“**加载输出标量文件**”（Load Output Scalar File）→ 从弹出的菜单中选择 <your initials>_Ethernet_Coax。



3）从“**面板**”（Panels）菜单中选择“**创建标量面板**”（Create Scalar Panel）→ 把“**横轴**”（Horizontal）设置为 Traffic Source.Traffic Sent(packets/sec).average →把“**纵轴**”（Vertical）设置为 Traffic Sink.Traffic Received(packets/sec).average →单击“**确定**”（OK）。

4）结果图如下图所示。



进一步阅读

IEEE 802.3 以太网工作组：www.ieee802.org/3/。

练习

1. 本次仿真实验显示了接收的数据包（吞吐量）和发送的数据包（负载）之间的关系，解释仿真中得到的结果。当负载很小或很大时，为什么吞吐量均下降了？
2. 创建三个和本次实验一样的仿真场景，把这些场景分别命名为 Coax_Q2a、Coax_Q2b 和 Coax_Q2c。给新场景中所有节点的“**数据包生成参数**”（Packet Generation Argument）中的“**到达时间间隔**”（Interarrival Time）属性分别设置不同的值：
   - 场景 Coax_Q2a：exponential(0.1)。
   - 场景 Coax_Q2b：exponential(0.05)。
   - 场景 Coax_Q2c：exponential(0.025)。

   在所有新场景中，打开“**配置仿真**”（Configure Simulation）对话框，从“**对象属性**”（Object Attributes）中删除那个有多值的属性（列表中仅有的属性）。为节点 0（node_0）选择下面的统计量：“**以太网同轴电缆**”（Ethcoax）→“**冲突数**”（Collision Count）。确保选择了下面的全局统计量：“**全局统计量**”（Global Statistics）→“**流量接收端**”（Traffic Sink）→“**接收端流量（数据包 / 秒）**”（Traffic Received (packet/sec)）。（参考本次实验中的“选择统计量”部分。）

   运行三个新场景的仿真，得到两幅结果图：其一用于比较三个场景中节点 0（node_0）的冲突数；其二用于比较三个场景中接收的流量。解释这两幅图，讨论其结果。（**注**：当仿真运行完毕时，从“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）进行比较。）
3. 为了研究工作站的数量对以太网段性能产生的影响，创建一个与练习 2 中场景 Coax_Q2c 一样的新场景 Coax_Q3。在这个新场景中，移除标号为奇数的节点，一共 15 个（node_1、node_3……node_29）。对新场景进行仿真，得到一幅结果图，比较场景 Coax _Q2c 与场景 Coax _Q3 中节点 0（node_0）的冲突数，解释这幅图，讨论其结果。
4. 在本次仿真实验中，我们使用的数据包大小是 1024 字节。（**注**：每个以太网的数据包至多包含 1500 字节的数据。）为了研究数据包的大小对以太网吞吐量产生的影响，创建与练习 2 场景 Coax_Q2c 一样的新场景 Coax_Q4。在这个新场景

中，将数据包大小设为 512 字节。对于 Coax_Q2c 和 Coax_Q4 这两个场景，选择以下的全局统计量："**全局统计量**"（Global Statistics）→"**流量接收端**"（Traffic Sink）→"**接收端流量（数据包 / 秒）**"（Traffic Received (packet/sec)）。再一次运行 Coax_Q2c 和 Coax_Q4 这两个场景的仿真，得到以下两张图，对它们加以解释：

a. 一张图用于比较场景 Coax_Q2c 和场景 Coax_Q4 中吞吐量随每秒发送的数据包量的变化。

b. 另一张图用于比较场景 Coax_Q2c 和场景 Coax_Q4 中吞吐量随每秒发送的位数的变化。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

无线局域网

无线连接站的介质访问控制

实验目的

本实验的目的主要关注无线局域网（Wireless Local Area Network，WLAN）IEEE 802.11 标准的介质访问控制（Medium Access Control，MAC）子层。我们将研究该标准中的不同选项，并在多个场景下分析这些选项的性能。

实验概览

IEEE 802.11 标准提供了通过无线连接为计算机工作站（如便携式计算机）快速部署网络的技术规范。此标准中的介质访问控制（MAC）子层包含两种基本的访问方法：分布式协调功能 DCF（Distributed Coordination Function，DCF）和点协调功能 PCF（Point Coordination Function，PCF）。DCF 利用了载波监听多路访问 / 冲突检测（CSMA/CA）方法，无线局域网（WLAN）的所有工作站都支持 DCF。PCF 通过轮询的方法来决定下一个发送数据的工作站，基础设施网络中的工作站对 PCF 访问方法的实现是可选的。

除了物理的 CSMA/CA 之外，DCF 和 PCF 也使用虚拟载波监听机制来确定介质的状态，这种虚拟机制是通过网络分配矢量（Network Allocation Vector，NAV）来实现的。NAV 为每个工作站预测介质上将要出现的流量，每个工作站把 NAV 作为一个时间间隔的指示器，在这个时间间隔内，工作站不会开始发送数据——即使它认为无线介质并不处于忙碌状态。NAV 从管理帧和网络中交换的普通帧的头部中获取关于将要出现的流量的信息。

在 DCF 方法中，每个工作站在传输之前都会监听介质。只要介质繁忙，发送站就会延迟发送数据。延迟一段时间之后，当介质空闲时，发送站还需要等待一个随机的补偿时间间隔。在这个补偿时间间隔之后，如果介质仍然空闲，工作站就会开始传输数据或者有选择地与接收站交换请求发送帧（Request To Send，RTS）和允许发送帧（Clear To Send，CTS）。RTS 和 CTS 的作用将在移动无线局域网（Mobile WLAN）实验（实验九）中进行研究。

在 PCF 方法中，将网络中的接入点（Access Point，AP）当做一个点协调器（Point Coordination，PC），它利用轮询机制来决定由哪一个站开始传输数据。网络中的工作站

可以选择参与 PCF，然后对从点协调器中获得的轮询结果做出回应，这类工作站就称为协调功能可轮询（CF-Pollable）工作站。PCF 要求点协调器获取介质访问控制权。为了获得介质访问控制权，点协调器使用信标管理帧（Beacon management frame）来设置网络工作站的 NAV。由于设置 NAV 所使用的机制是基于 DCF 的，所以不管工作站是否是协调功能可轮询的，它都会遵守点协调器的请求来设置 NAV。通过这种方法，点协调器产生无争用周期（Contention-Free Period，CFP）来控制帧的传输。在 CFP 中，点协调器和协调功能可轮询站都不使用 RTS/CTS。

IEEE 802.11 标准允许把 MAC 数据单元划分成更小的帧。当无线信道对于传输长帧不那么可靠时，分片就很有优势。只有长度大于分片阈值的帧才会分割，每一个分片都会单独发送和确认。在一个争用周期内，通过一次 DCF 介质访问过程调用，单个帧的所有分片将会连续发送。在无争用周期的 PCF 中，分片将会遵守点协调器的规则逐一发送。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 2.7 节。

💻 浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 无线网络和带有冲突避免的多路访问（Wireless Network and Multiple Access with Collision Avoidance）。

实验步骤

创建新工程

请按以下步骤为以太网创建一个新工程：

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project），单击“**确定**”（OK）→ 将工程命名为 <your initials> _ WirelessLAN，将场景命名为 DCF → 单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**办公室**”（Office），选中“**使用度量单位**”（Use Metric Units）→单击“**下一步**”（Next）两次→单击“**确定**”（OK）。

创建和配置网络

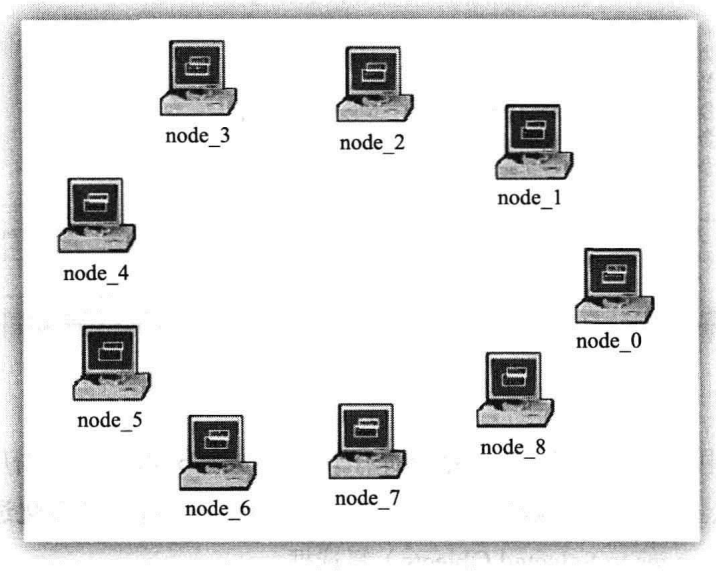
请按以下步骤创建无线网：

1）“**对象面板**”（Object Palette）对话框现在应该位于工程工作区的顶部。如果不在，单击按钮打开它。确保在对象面板的下拉菜单中选择了“**无线局域网**”（wireless_lan）。

2）从对象面板上为工程区添加 9 个工作站 wlan_station_ adv (fix)。

单击对象面板上的对象，从面板上添加对象→把鼠标移动到工作区→单击放置对象。右击结束放置。

3）关闭“**对象面板**”（Object Palette）对话框→如下图所示布置工作站→“**保存**”（Save）工程。



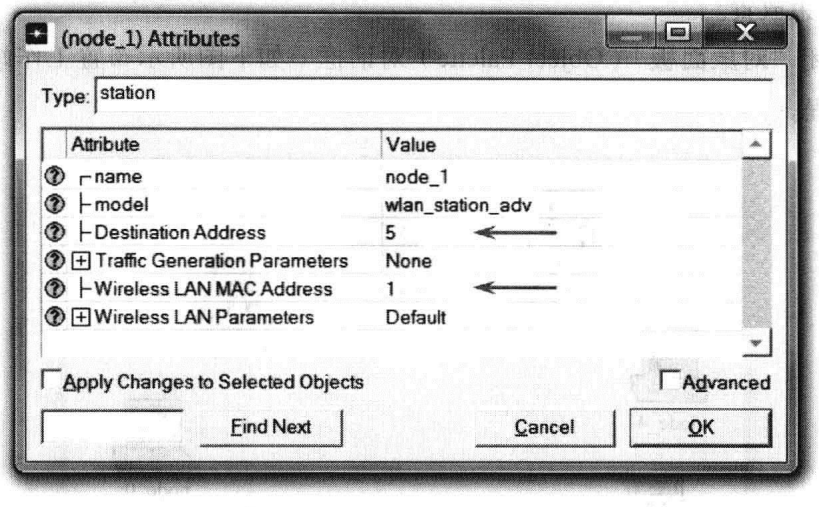
配置无线网节点

对这 9 个节点重复以下操作：

在节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→将“**无线局域网 MAC 地址**”（Wireless LAN MAC Address）属性值设置为节点编号（例如，把节点 node_1 的地址设置为 1）→如下表所示，为“**目的地址**”（Destination Address）属性设置相应的值→单击“**确定**”（OK）。

节点名	目的地址
node_0	随机分配
node_1	5
node_2	8
node_3	6
node_4	7
node_5	1
node_6	3
node_7	4
node_8	2

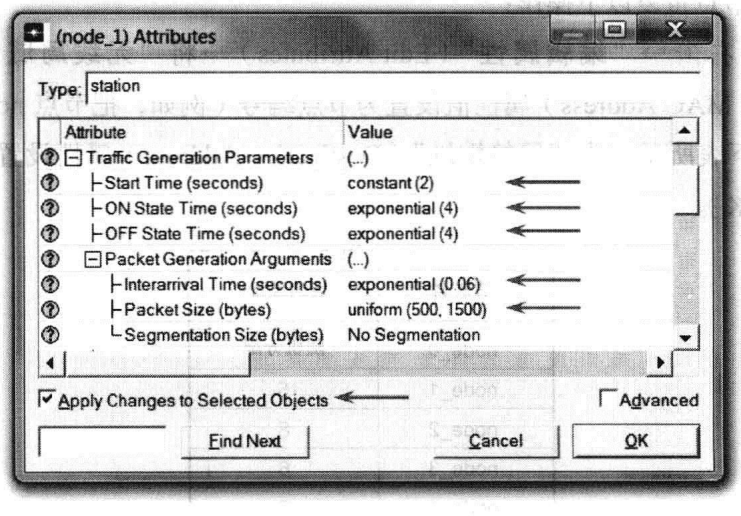
下图显示了为节点 node_1 设置“**目的地址**”（Destination Address）属性值和“**无线局域网 MAC 地址**”（Wireless LAN MAC Address）属性值。



流量生成参数

1）同时选中**除节点 node_0 之外**的所有节点（按住 Shift 键，单击所有节点）→在任一选中的节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

2）展开“**流量生成参数**”（Traffic Generation Parameters）以及“**数据包生成参数**”（Packet Generation Arguments）的层次结构→按下图编辑属性→单击“**确定**”（OK）。



3）同时选中包括节点 node_0 的所有节点→在任一选中的节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

4）展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）的层次结构→把“**缓冲区**

大小（位）”（Buffer Size(bits)）属性值设置为 4 608 000 →单击“**确定**”（OK）。

5）在节点 node_0 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）的层次结构，把“**接入点功能**”（Access Point Functionality）设置为“**有效的**”（Enabled）→ 单击“**确定**”（OK）。

6）“**保存**”（Save）工程。

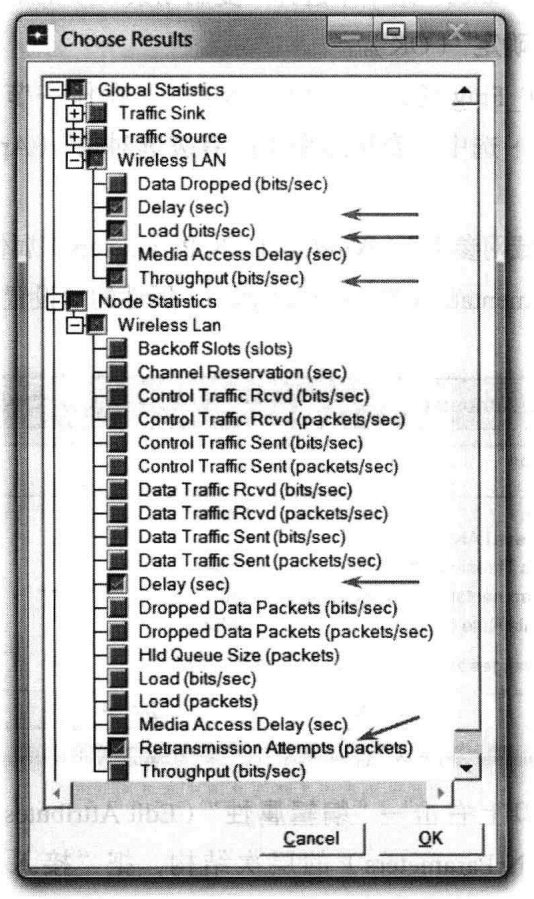
有益提示　缓冲区大小（Buffer Size）指明了高层数据缓冲区的最大位数。一旦达到了缓冲区的上限，从高层到达的数据包将会丢弃，直到缓冲区中移除一些数据包从而有空余的空间来存储这些新的数据包。

选择统计量

将按如下步骤收集统计量，以检测分布式协调功能场景下的网络性能。

1）在工程区的任何地方右击，在弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，展开“**全局统计量**”（Global Statistics）和“**节点统计量**”（Node Statistics）的层次结构 → 如下图所示，选择 5 个统计量。



3）单击“**确定**”（OK）。

配置仿真

现在，我们将配置仿真参数：

1）单击按钮，“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口将会出现。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 **10.0 分钟**。

3）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

复制场景

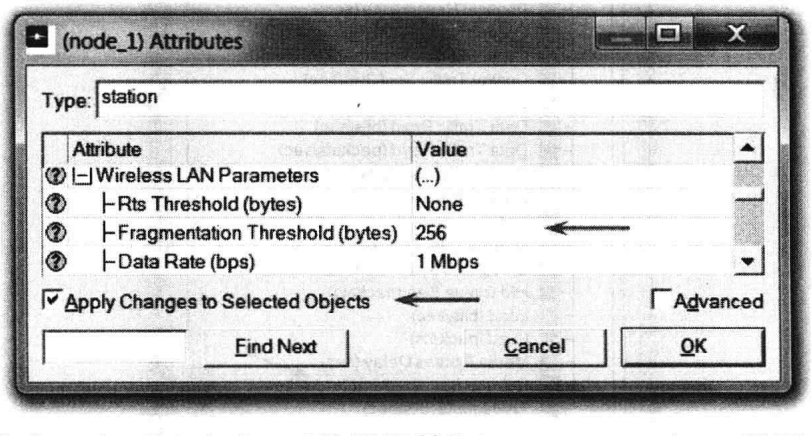
在刚才创建的网络中，我们并没有使用在“实验概览”中提到的一些功能。默认情况下，MAC 子层使用分布式协调功能（DCF）方法。我们将创建另外三个场景来应用 IEEE 802.11 标准中规定的其他可用功能。在 DCF_Frag 场景中，我们允许将 MAC 数据单元分成小帧，然后检测它对网络性能的影响。DCF_PCF 场景在 MAC 子层中使用点协调功能方法的同时，也使用了分布式协调功能方法。最后，在 DCF_PCF_Frag 场景中，允许将 MAC 数据分片，然后用 PCF 方法检测它对网络性能的影响。

DCF_Frag 场景

1）从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 **DCF_Frag** →单击“**确定**”（OK）。

2）同时选中 DCF_Frag 场景中的所有节点 → 在任一节点上右击 →“**编辑属性**”（Edit Attributes）→ 选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

3）展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）属性的层次结构→ 把“**分片阈值（字节）**”（Fragmentation Threshold(bytes)）属性的值设置为 **256** → 单击“**确定**”（OK）。



4）在节点 **node_0** 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→ 展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）的层次结构，把“**接入点功能**”（Access Point Functionality）设置为“**有效的**”（Enabled）→ 单击“**确定**”（OK）。

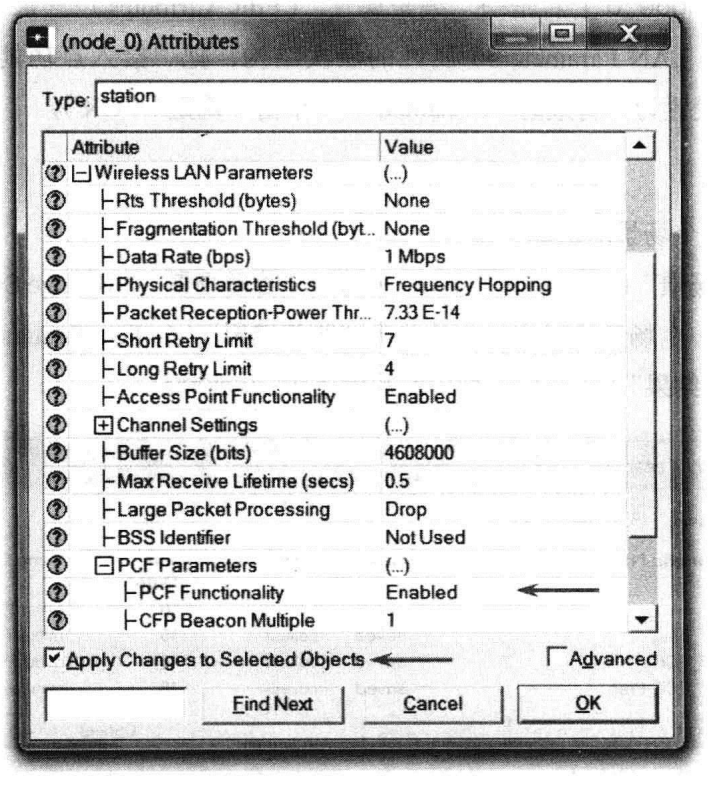
有益提示　分片阈值（Fragmentation Threshold）指明了分片阈值的字节数。如果任何从高层接收到的数据包长度超过了这个阈值，则会被分割成一些小片，这些小片将分别通过无线接口进行传输。不管这个属性的值是多少，如果一个高层数据包的大小超过了由无线局域网标准 IEEE 802.11 所规定的 MAC 服务数据单元（MAC Service Data Unit，MSDU）的最大值（2304 字节），它将不会通过 MAC 层传输，而是在被接收到时直接丢弃。

DCF_PCF 场景

1）切换到 DCF 场景中，从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 DCF_PCF → 单击“**确定**”（OK）→“**保存**”（Save）工程。

2）在 DCF_PCF 场景中同时选中 node_0、node_1、node_3、node_5、node_7 五个节点（按住 Shift 键，单击这些节点）→ 在任一选中的节点上右击 →“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

3）选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框 → 展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）的层次结构 → 展开“**PCF 参数**”（PCF Parameters）属性的层次结构 → 把“**PCF 功能**”（PCF Functionality）属性设置为“**有效的**”（Enabled）→ 单击“**确定**”（OK）。



4）在节点 node_0 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）的层次结构，把“**接入点功能**”（Access Point Functionality）设置为“**有效的**”（Enabled）→单击“**确定**”（OK）。

有益提示 可以从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**场景切换**”（Switch to Scenario）或者同时按下 Ctrl 键和**场景编号**（Ctrl+<scenario number>）来切换一个场景。

DCF_PCF_Frag 场景

1）切换到 DCF_Frag 场景中，从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 DCF_PCF_Frag → 单击“**确定**”（OK）→“**保存**”（Save）工程。

2）在 DCF_PCF_Frag 场景中同时选中 node_0、node_1、node_3、node_5、node_7 五个节点（按住 Shift 键，单击这些节点）→ 在任一选中的节点上右击 → 选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

3）选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框→展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）属性的层次结构 →展开“**PCF 参数**”（PCF Parameters）属性的层次结构 → 把“**PCF 功能**”（PCF Functionality）属性设置为“**有效的**”（Enabled）→ 单击“**确定**”（OK）。

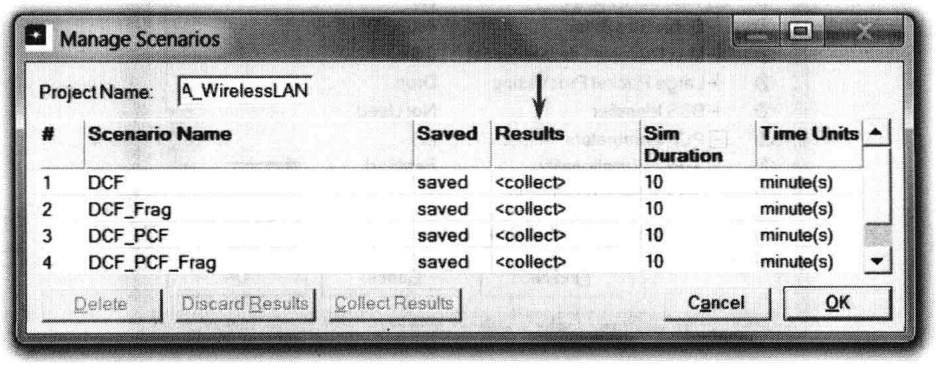
4）在节点 node_0 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→ 展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）属性的层次结构，把“**接入点功能**”（Access Point Functionality）设置为“**有效的**”（Enabled）→ 单击“**确定**”（OK）。

运行仿真

同时运行 4 个场景的仿真：

1）选择“**场景**”（Scenarios）菜单 → 选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）单击每一个场景所对应行，并单击“**收集结果**”（Collect Results）按钮。如下图所示，这将把“**结果**”（Results）列中的数值改为 <collect>。



3）单击“**确定**”（OK），运行 4 个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

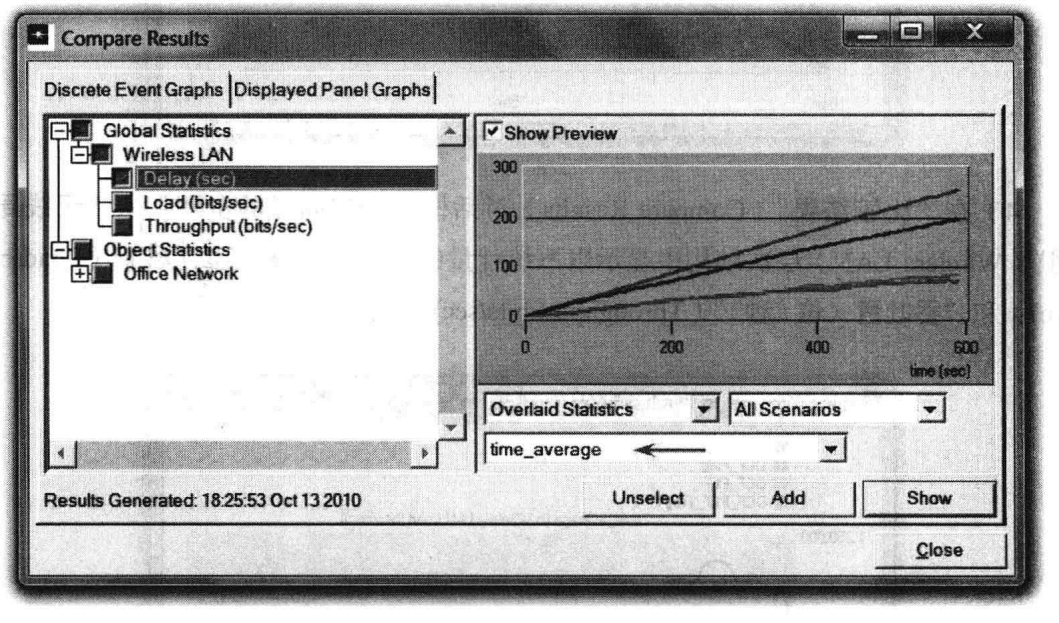
4）4 个场景的仿真完成以后，单击“**关闭**”（Close）→“**保存**”（Save）工程。

观察结果

按以下步骤观察并且分析结果（**注**：事实上，结果会根据实际节点所在工程中位置的不同而有轻微变化）：

1）从“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

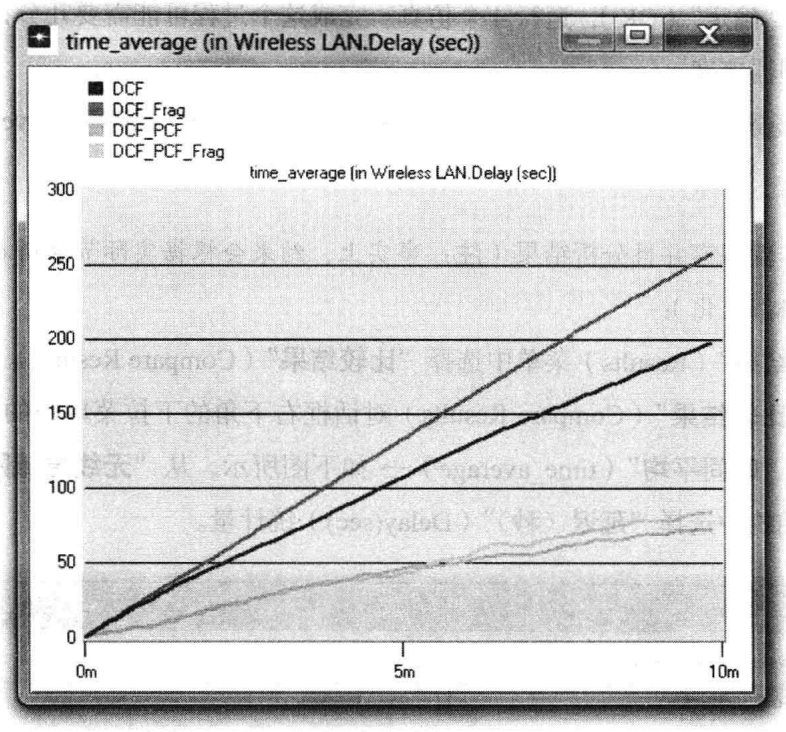
2）把“**比较结果**”（Compare Results）对话框右下角的下拉菜单中的“**保持原样**”（As Is）改为“**时间平均**”（time_average）→ 如下图所示，从“**无线局域网**”（Wireless LAN）层次结构中选择“**延迟（秒）**”（Delay(sec)）统计量。



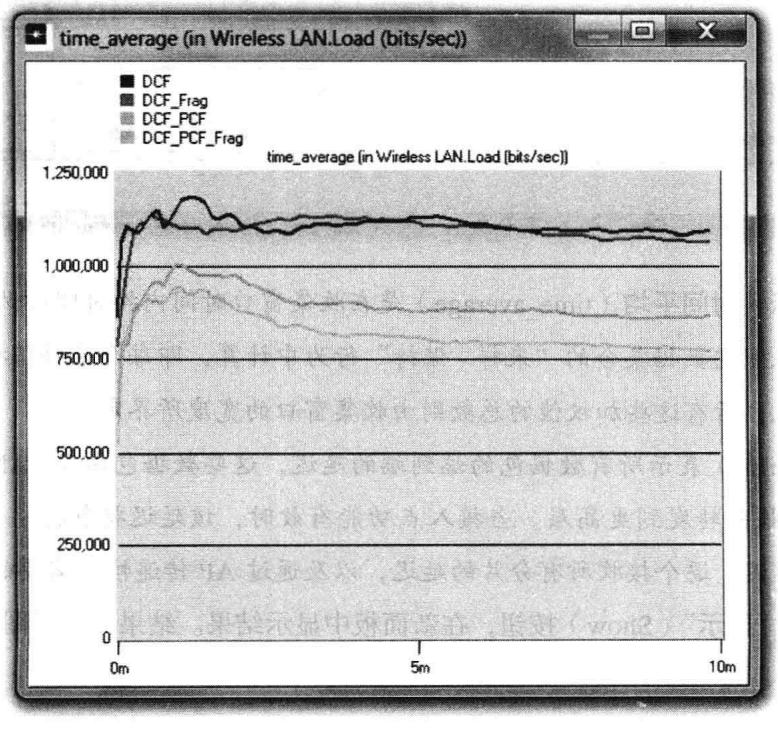
有益提示　**时间平均**（time_average）是在收集窗口时间内按时间所做的加权平均。这个平均值在假定数据集合的“采样 - 保持”行为中计算，即每个采样值根据其持续的时间进行加权，所有这些加权值的总数则由收集窗口的宽度所界定。

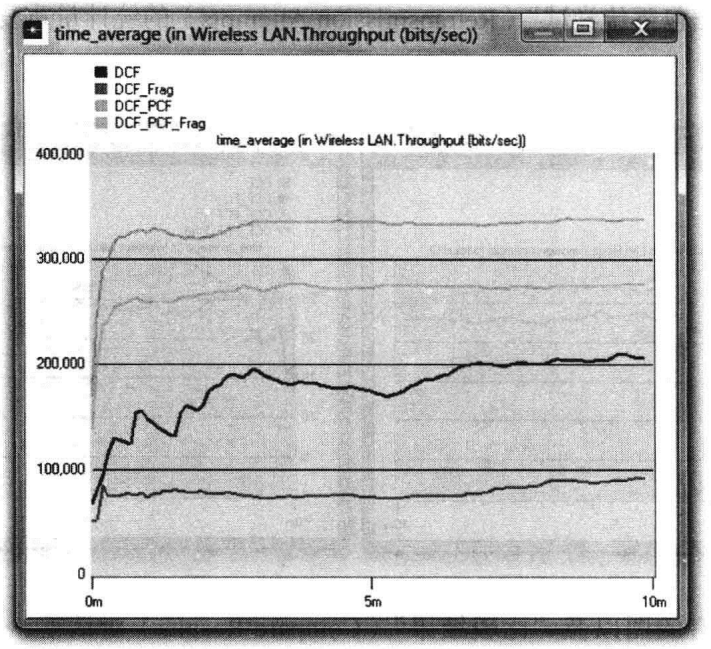
延迟（delay）表示所有数据包的端到端的延迟，这些数据包由 WLAN 所有节点的 MAC 子层接收并转发到更高层。当接入点功能有效时，该延迟将包括：源端 MAC 层的介质访问延迟、逐个接收所有分片的延迟，以及通过 AP 传递帧所需要的延迟。

3）单击“**显示**”（Show）按钮，在新面板中显示结果。结果图如下图所示。



4）在“**比较结果**”（Compare Results）对话框中→按同样的步骤，从“**无线局域网**”（Wireless LAN）层次结构中显示以下统计量的图表：“**负载（位 / 秒）**”（Load(bits/sec)）和“**吞吐量（位 / 秒）**”（Throughput(bits/sec)）。结果图如下图所示。

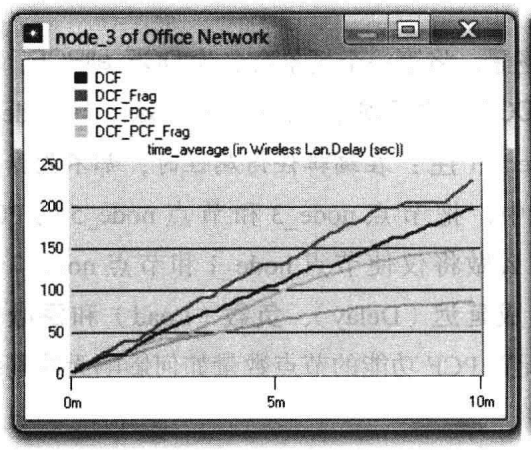


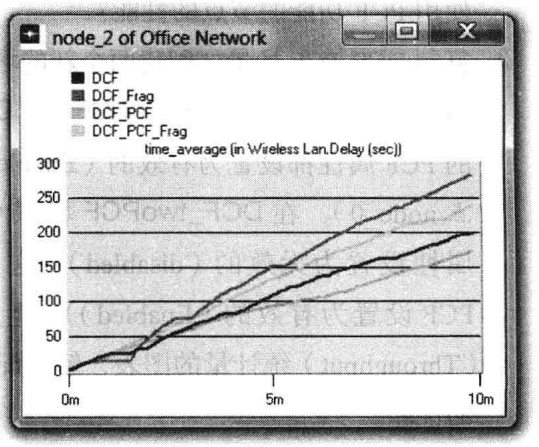


有益提示　**负载**（load）表示网络中所有 WLAN 节点每秒钟由高层提交给无线介质访问控制层的总位数。这个统计量并不包括到达无线局域网 MAC 子层时被丢弃的高层数据包的位数。

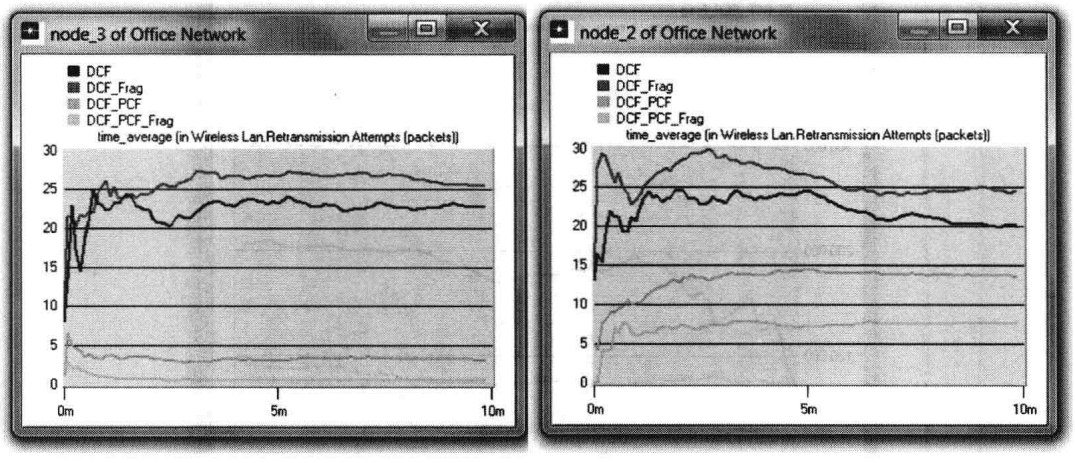
吞吐量（throughput）表示网络中所有 WLAN 节点每秒钟从无线介质访问控制层转发到更高层的总位数。

5）在“**比较结果**”（Compare Results）对话框中→展开“**对象统计量**”（Object Statistics）的层次结构 → 展开“**办公室网络**”（Office Network）的层次结构→展开两个节点的层次结构。在 DCF_PCF 场景中，一个是 PCF 已设置为有效（Enabled）的节点（例如节点 node_3），另一个是 PCF 已设置为无效（disabled）的节点（例如节点 node_2）→ 对已经选择的节点，显示它们的“**延迟（秒）**”（Delay(sec)）统计量的结果。结果图如下图所示。





6）对“**数据包重传尝试**”（Retransmission Attempts）的统计量重复步骤 5，结果图如下图所示。



7）关闭所有的图以及“**比较结果**”（Compare Results）对话框→“**保存**”（Save）工程。

进一步阅读

ANSI/IEEE 标准 802.11，1999 版本：Wireless LAN MAC 以及物理层（PHY）的规范。

练习

1. 根据统计量**负载**（Load）的定义，解释一下为什么使用 PCF 比没有使用 PCF 的负载更低。
2. 比较 4 个场景中的**延迟**（Delay）和**吞吐量**（Throughput），并对仿真结果图加以分析。使用 PCF 和分片对这两个统计量有何影响？
3. 根据实验中最后 4 个图来解释：PCF 功能有效的（Enabled）节点怎么影响没有使用 PCF 功能的节点的性能？
4. 复制 DCF_PCF 场景，创建两个新的场景，将第一个场景命名为 DCF_allPCF，将第二个场景命名为 DCF_twoPCF。在 DCF_allPCF 场景中，把节点 node_1 ～ node_8 的 PCF 属性都设置为有效的（Enabled）（**注**：*在编辑任何属性时，都不包括节点 node_0*）。在 DCF_twoPCF 场景中，把节点 node_3 和节点 node_5 的 PCF 属性设置为无效的（disabled）（这么做将仅使节点 node_1 和节点 node_7 的 PCF 设置为有效的（Enabled））。生成**延迟**（Delay）、**负载**（Load）和**吞吐量**（Throughput）统计量的图表，解释配置 PCF 功能的节点数量如何影响无线网络的性能。

5. 对于所有的场景，从全局场景（Global Statistics）中选择“**介质访问延迟**”（Media Access Delay）统计量 → 展开“**无线局域网**”（Wireless LAN）层次结构，重新运行所有的场景，生成所有场景的“**介质访问延迟**”（Media Access Delay）统计量的图表进行比较。分析图表，解释 PCF、分片以及配置 PCF 功能的节点数量对于介质访问延迟（media access delay）所产生的影响。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各个仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

交换式局域网

由交换机互连的一组局域网

实验目的

本实验的目的是演示交换式局域网的实现过程。实验中的仿真将有助于你检验由交换机和集线器互连而成的不同局域网的性能。

实验概览

不但单个网络里包含的主机数量是有限的，而且单个网络能够服务的地理区域也是有限的。通过使用交换机，即使没有直接连接的主机之间也能够进行通信。交换机是一种用来实现主机互连的设备，它有多个输入端口和输出端口。交换机的核心任务是获取到达输入端口的数据包，然后选择正确的输出端口转发（或交换）这些数据包，以便它们能够到达合适的目的地。

交换机必须应对的一个关键问题是输出端口的带宽有限。如果要转发到某个输出端口的数据包到达交换机的速率超过了这个输出端口的容量，那么就会出现争用的问题。在这种情况下，交换机将会让这些数据包排队等候或者进行缓存，直到争用得以缓解。然而，如果发生争用的时间过长，交换机将会因缓冲区耗尽而不得不丢弃这些数据包。如果频繁地丢弃数据包，那么就表明在这个交换机上出现了拥塞。

在本实验中，你将使用两个不同的交换设备（集线器和交换机）来建立交换式局域网。不管数据包的目的地在哪里，集线器将到达任一输入端口的数据包转发到所有的输出端口；然而，交换机则会根据数据包的目的地，把到达的数据包转发到一个或多个输出端口。你将研究在一个交换式网络中，网络的配置以及所使用的交换设备类型是如何影响吞吐量和数据包冲突的。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的第 3 章。

💻 浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 交换机（Switch）。
- 没有服务器的交换式网络（Switched Network With No Server）。

- 有服务器的交换式网络（Switched Network With Server）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials>_SwitchedLAN，将场景命名为 OnlyHub → 单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**办公室**”（Office）→单击“**下一步**”（Next）三次→单击“**确定**”（OK）。

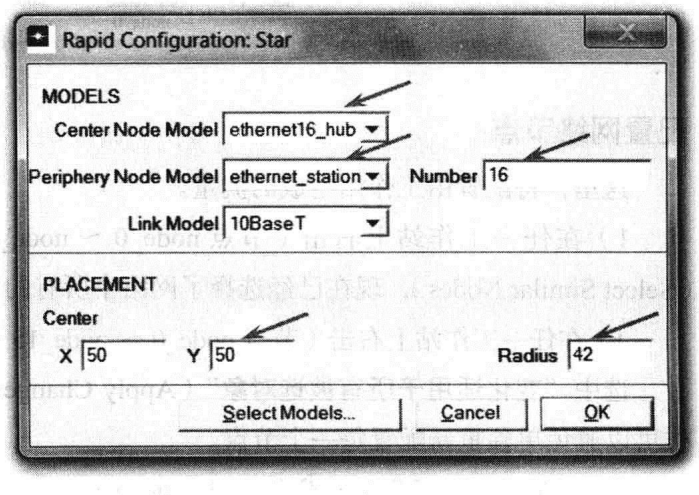
4）关闭“**对象面板**”（Object Palette）对话框。

创建网络

请按以下步骤创建一个交换式局域网：

1）选择“**拓扑**”（Topology）→“**快速配置**”（Rapid Configuration），从下拉菜单中选择“**星形**”（Star），单击“**确定**”（OK）。

2）在“**快速配置**”（Rapid Configuration）对话框中单击“**选择模型**”（Select Models）按钮。从“**模型列表**”（Model List）下拉菜单中选择“**以太网**”（ethernet），单击“**确定**”（OK）。



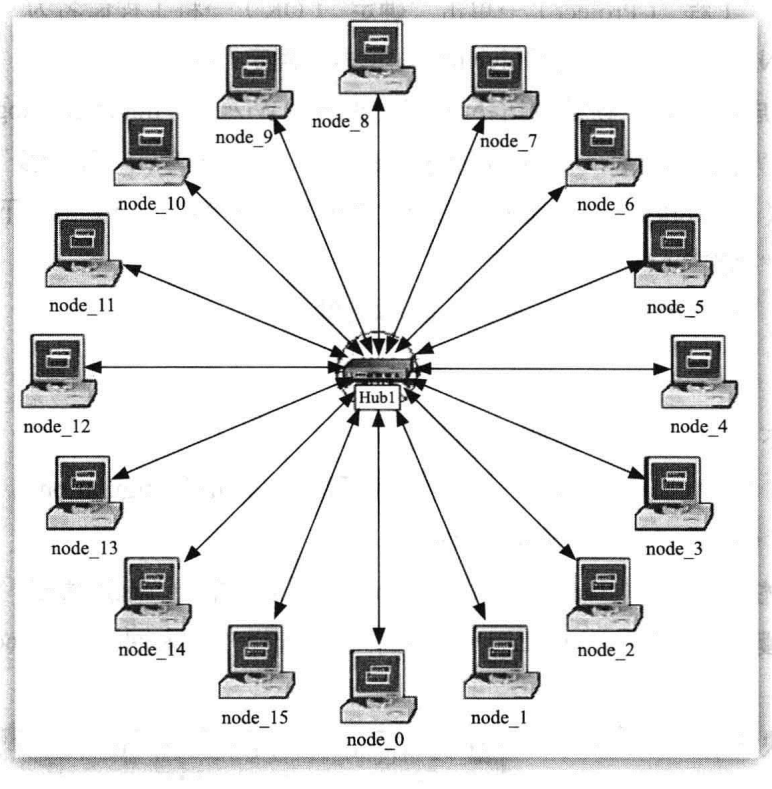
3）在**快速配置**对话框中，设置以下 5 个值：“**中心节点模型为 16 口的以太网集线器**”（Center Node Model=ethernet16_hub），“**外围节点模型为以太网工作站**”（Periphery Node Model=ethernet_station），“**链路模型为 10BaseT**”（10BaseT Link Model=10BaseT），“**工作站数目为 16**”（Number=16），X=50，Y=50，“**半径为 42**”（Radius=42）→单击“**确定**”（OK）。

有益提示 ethernet16_ 的前缀表明，此设备最多可支持 16 个以太网相互连接。10BaseT 链路表示一个 10Mbps 的以太网连接。

4）在节点 Node_16（集线器）上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**名字**”（name）属性改为 Hub1，单击“**确定**”（OK）。

5）现在，如下图所示，你已经创建了网络。

6）确保保存了工程。



配置网络节点

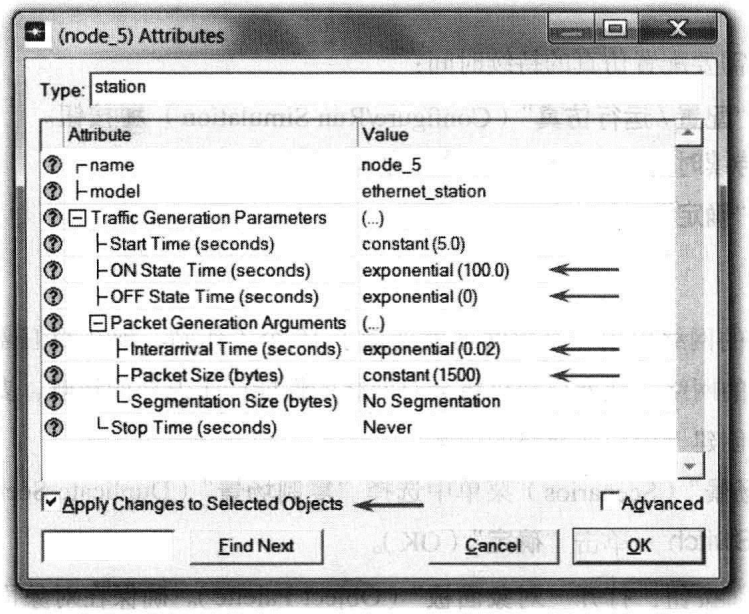
这里，将配置由工作站生成的流量。

1）在任一工作站上右击（节点 node_0 ～ node_15）→选中“**选择相似的节点**”（Select Similar Nodes），现在已经选择了网络中所有的工作站。

2）在任一工作站上右击（节点 node_0 ～ node_15）→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框，这样可以避免单独重新配置每一个节点。

3）分别展开“**流量生成参数**”（Traffic Generation Parameters）属性和“**数据包生成参数**”（Packet Generation Arguments）属性的层次结构，设置如下图中右边箭头所示的 4 个值。



4）单击“**确定**”（OK），关闭属性编辑窗口。

5）“**保存**”（Save）工程。

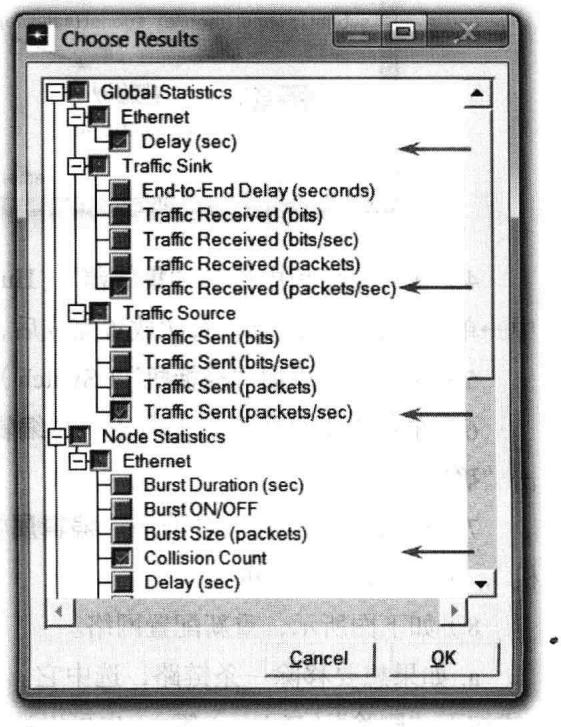
选择统计量

请按如下步骤选择将要在仿真中收集的统计量：

1）在工程工作区的任何地方右击，从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，选择右图显示的 4 个统计量。

3）单击“**确定**”（OK）。



有益提示　以太网延迟（Ethernet Delay）表示由所有工作站接收到的所有数据包的端到端的延迟。

接收到的流量（Traffic Received）（数据包 / 秒）是在 1 秒内所有目的节点接收到的数据包总数。

发送的流量（Traffic Sent）（数据包 / 秒）是在 1 秒内所有源节点发送的数据包总数。

冲突数（Collision Count）是在数据包传输过程中集线器遇到的冲突总数。

配置仿真

现在我们需要配置仿真的持续时间：

1）单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮。

2）把“**持续时间**”（Duration）设置为 **2.0 分钟**。

3）单击“**确定**”（OK）。

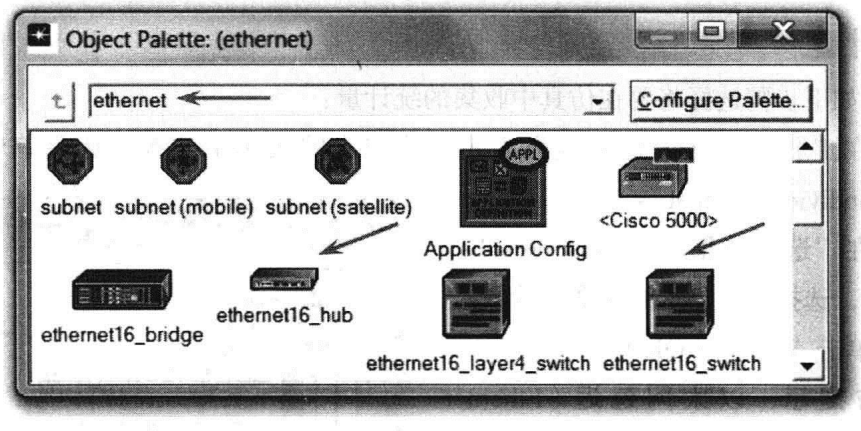
复制场景

刚刚创建的网络仅用一个集线器就连接了 16 个工作站。现在我们需要创建另一个由交换机连接的网络，观察交换机将会对网络的性能产生怎样的影响。要达到这样的目的，我们需要创建一个当前网络的副本。

1）从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 HubAndSwitch →单击“**确定**”（OK）。

2）单击按钮，打开“**对象面板**”（Object Palette）。确保在对象面板的下拉菜单中选择了“**以太网**”（Ethernet）。

3）我们必须在新场景中放置如下图所示的集线器和交换机。



4）在对象面板中单击“**集线器**”（Hub）图标，添加集线器→把鼠标移动到工作区中→单击，放置集线器。每次放置完成后，右击。

5）同样地，添加“**交换机**”（Switch），然后关闭“**对象面板**”（Object Palette）。

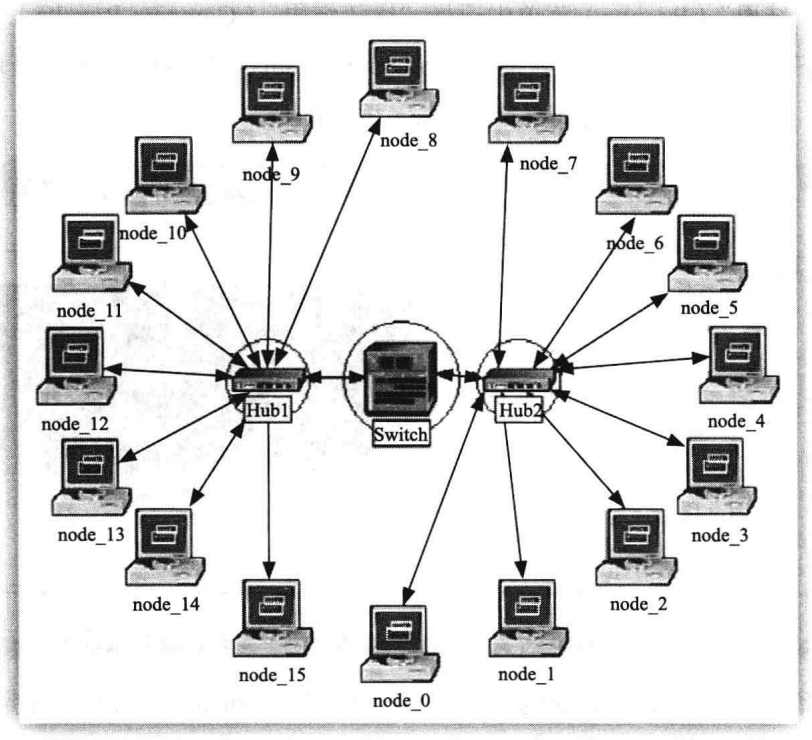
6）在新建集线器节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→命名为 Hub2，单击“**确定**”（OK）。

7）在交换机节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→命名为 Switch（交换机），单击“**确定**”（OK）。

8）如下图所示，重新配置网络。

a. 如果想要移除一条链路，选中它。从“**编辑**”（Edit）菜单中选择“**剪切**”（Cut）（或按下“**删除**”（Delete）键）。也可以选择多条链路，一起删除它们。

b. 如果想要添加一条新的链路，使用“**对象面板**”（Object Palette）中已有的10BaseT 链路。

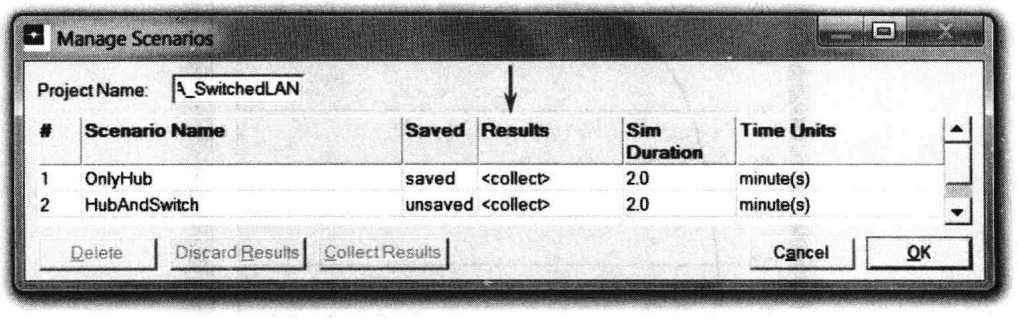


运行仿真

请按如下步骤操作，以便同时运行两个场景的仿真：

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）在“**结果**”（Results）列中把两个场景的值改为 <collect>（或者 <recollect>），与下图进行比较。



3）单击“**确定**”（OK），运行两个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

4）当两个仿真运行完毕时，在两个场景中单击“**关闭**”（Close）。

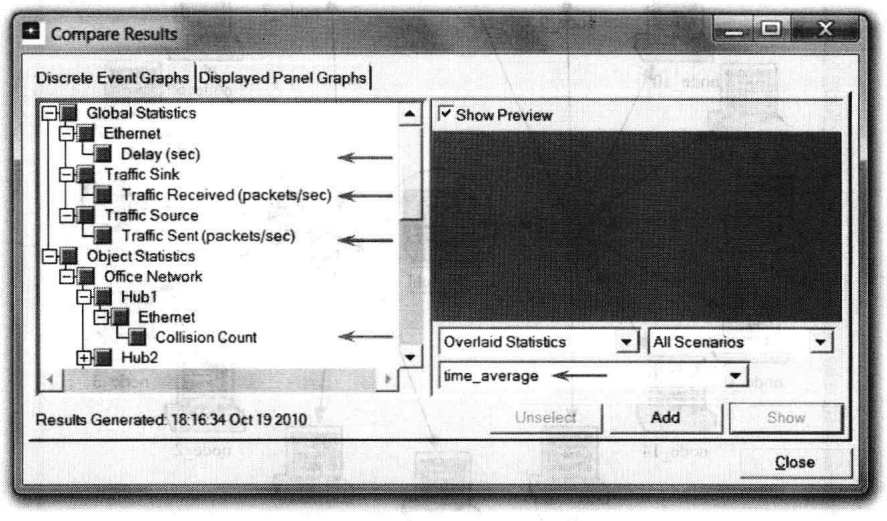
5）“**保存**”（Save）工程。

观察结果

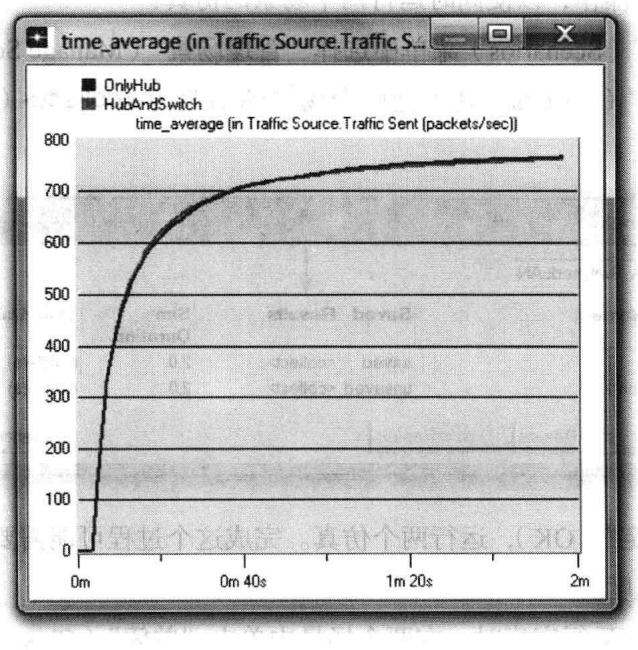
请按以下步骤观察并且分析结果：

1）从“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

2）如下图所示，在“**比较结果**”（Compare Results）对话框右下角的下拉菜单中把“**保持原样**”（As Is）改为“**时间平均**”（time_average）。



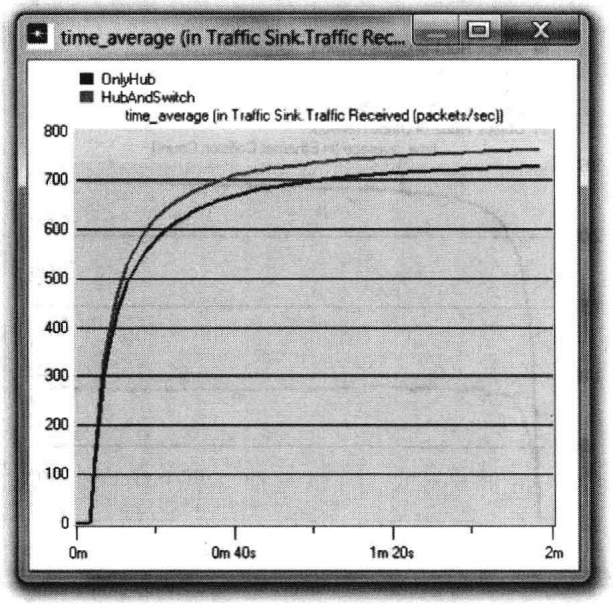
3）选择“**发送流量（数据包 / 秒）**”（Traffic Sent(packets/sec)）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮。结果如下图所示。可以看到，两个场景中的发送流量（traffic sent）几乎相同。



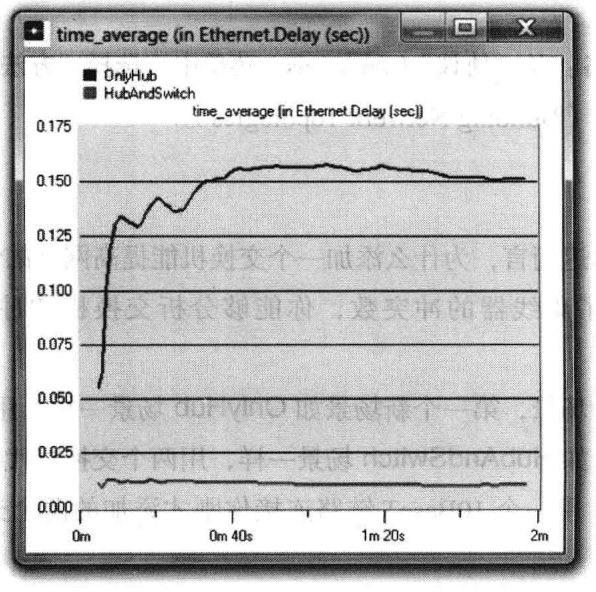
有益提示　**时间平均**（time_average）是在收集窗口时间内按时间所做的加权平均。

这个平均值在假定数据集合的“采样 - 保持”行为中计算，即每个采样值根据其持续的时间进行加权，所有这些加权值的总数则由收集窗口的宽度所界定。例如，假设有一个 1 秒的存储桶，在这个存储桶中生成了 10 个值。前 7 个值在 0 ～ 0.3 秒中产生，第 8 个值在 0.4 秒时产生，第 9 个值在 0.6 秒时产生，第 10 个值在 0.99 秒时产生。由于最后三个值的持续时间更长，在计算平均值时，它们所占的权重更大。

4）选择“**接收流量（数据包 / 秒）**”（Traffic Received(packets/sec)）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮。结果如下图所示。可以看到，第二个场景 HubAndSwitch 中的接收流量（traffic received）要高于第一个场景 OnlyHub 中的接收流量。



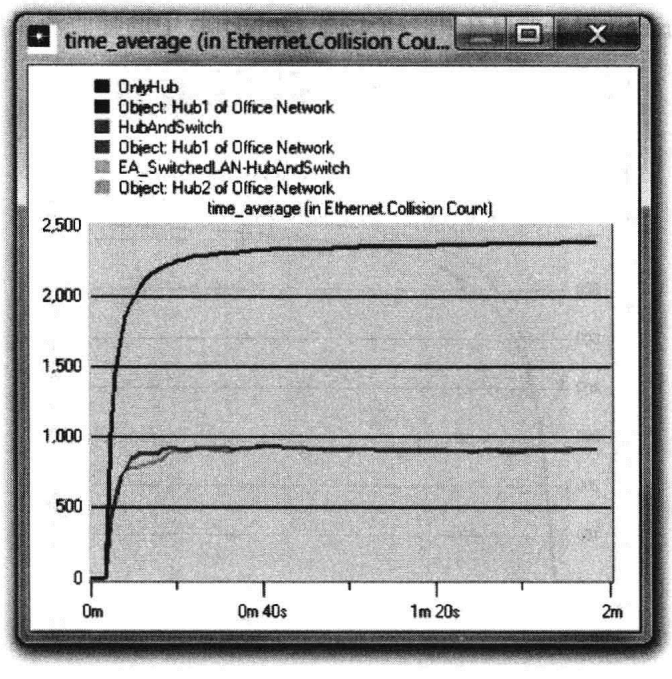
5）选择“**延迟（秒）**”（Delay(sec)）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮。结果如下图所示。（**注**：根据不同的节点位置，结果可能会有一点儿变化。）



6）为 Hub1 选择“**冲突数**”（Collision Count）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮。

7）在结果图中的任意“**图区**”（gragh area）上右击→选择“**增加统计量**”（Add Statistic）→ 如下图所示，展开层次结构 → 为 Hub2 选择“**冲突数**”（Collision Count）统计量→把“**保持原样**”（As Is）改为“**时间平均**”（time_average）→ 单击“**增加**”（Add）→单击“**关闭**”（Close）。

结果图如下图所示。



8）“**保存**”（Save）你的工程。

进一步阅读

OPNET 建立网络：从“**协议**”（Protocols）菜单中，选择“**方法**”（Methodologies）→“**建立网络拓扑结构**”（Building Network Topologies）。

练习

1. 就吞吐量和延迟而言，为什么添加一个交换机能提高网络的性能？
2. 我们已分析了集线器的冲突数，你能够分析交换机的冲突数吗？解释你的答案。
3. 创建两个新的场景，第一个新场景如 OnlyHub 场景一样，用交换机代替集线器。第二个新场景如 HubAndSwitch 场景一样，用两个交换机代替两个集线器，移走旧的交换机，用一个 10BaseT 链路连接你刚才添加的两个交换机。就延迟、吞

吐量、冲突数而言，比较这 4 个场景的性能并分析结果。（**注**：在集线器节点上右击，在“**模型**”（model）属性中选择“**16 口以太网交换机**”（ethernet16_switch），就可以实现用交换机代替集线器。）

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

虚拟局域网

把一个物理网络从逻辑上划分为几个单独的局域网

实验目的

本实验的目的是研究如何使用虚拟局域网（Virtual Local Area Networks，VLAN）把一个物理网络从逻辑上划分为几个单独的局域网，以达到减少冲突域和增强安全性的目的。

实验概览

虚拟局域网允许把单个可扩展的局域网划分为几个看上去相互分开的局域网。给每一个虚拟局域网分配一个标识符（有时称为颜色），并且仅当两个网络段有同样的标识符时，数据包才能（直接）从一个网段传递到另一个网段。如果在扩展局域网中需要接收给定的广播数据包，那么分段的数量就会受到限制。虚拟局域网引人注目的特征之一是：它不需要移动任何线路也不需要改变任何地址就可以改变其逻辑拓扑结构。

在本实验中，我们将为大学的两个部门建立一个网络。每个部门有三个局域网：一个为教授专用，一个为工作人员专用，一个为学生专用。该大学有三个服务器：一个用于研究，一个用于人力资源数据库，一个用于在线课程（e-learning）。在第一个场景中，网络的配置可以让两个部门的所有成员访问这三个服务器。即使是黑客，只要把计算机接入任何一个网络交换机中就可以访问这些网络服务器。

在第二个场景中，使用虚拟局域网，只允许教授访问研究服务器，工作人员只能访问人力资源服务器，学生只能访问在线学习服务器。这样配置的虚拟局域网将阻止黑客访问任何服务器。

在第三个场景中，添加一个路由器，使不同的虚拟局域网之间可以进行通信。我们将允许教授和学生进行通信，让他们共享用于研究和在线学习的服务器。仿真结果表明，虚拟局域网也会减少网络中一些链路的负载。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 3.1.4 节。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文**

件”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials>_VLAN，将场景命名为 NoVLAN → 单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**校园**”（Campus）→在“**启动向导：指定大小**”（Startup Wizard：Specify Size）对话框中，设置“**大小**”（Size）为“**千米**”（Kilometers），“**X 范围**”（X Span）和“**Y 范围**”（Y Span）都设置为 1 → 单击“**下一步**”（Next）两次 → 单击“**确定**”（OK）。

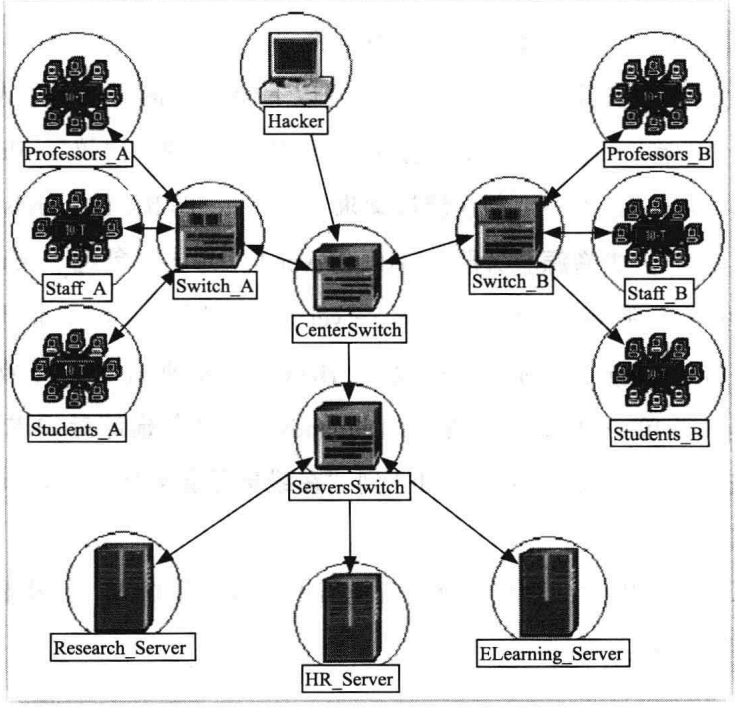
创建和配置网络

网络组件

1）单击 按钮，打开“**对象面板**”（Object Palette）对话框。确保在对象面板的下拉菜单中选择了“**因特网工具箱**”（internet_toolbox），把对象添加到工程工作区中（放置位置参见下图）：

a. 6 个局域网 10BaseT_LAN，4 个以太网交换机 ethernet16_switch，3 个以太网服务器 ethernet_server，1 个以太网工作站 ethernet_wkstn。

b. 使用 100BaseT 链路把这些对象连接起来，如下图所示，对它们**重新命名**（rename）。

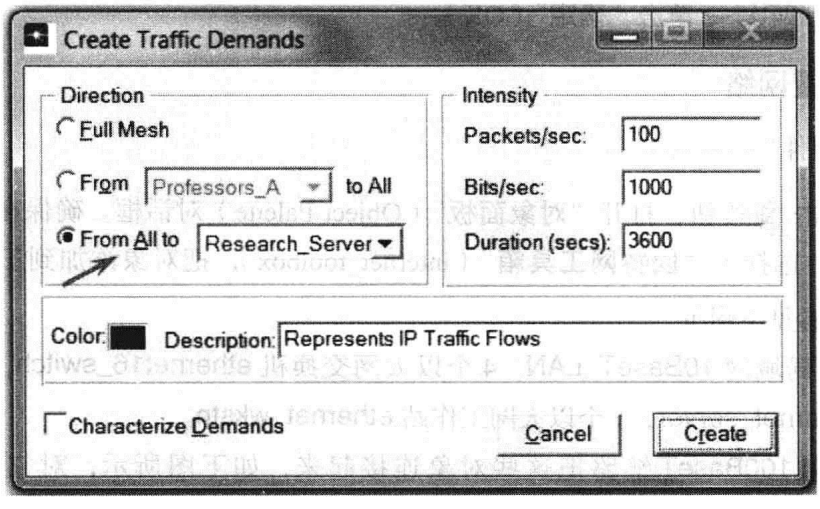


2）“**保存**”（Save）工程。

配置流量需求

1）同时选中“**研究服务器**”（Research_Server）、“**黑客**”（Hacker）和所有的 6 个局域网→选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**需求**”（Demands）→“**创建流量需求**”（Create Traffic Demands）。

2）如下图所示，选中“**从所有**”（From All）到“**研究服务器**”（Research_Server）→单击“**创建**”（Create）。



现在，我们已经创建了从所有局域网、黑客（Hacker）到研究服务器（Research_Server）的流量需求。注意，虚线代表这些需求。

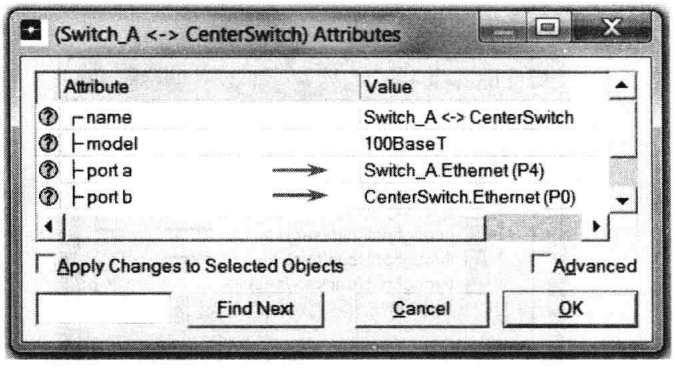
3）对**人力资源服务器**（HR_Server）重复以下操作：同时选中“**人力资源服务器**”（HR_Server）、“**黑客**”（Hacker）和所有 6 个局域网→选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**需求**”（Demands）→“**创建流量需求**”（Create Traffic Demands）→选中“**从所有**”（From All）到“**人力资源服务器**”（HR_Server）→单击“**创建**”（Create）。

4）对在线学习服务器（ELearning_Server）重复以下操作：同时选中“**在线学习服务器**”（ELearning_Server）、“**黑客**”（Hacker）和所有 6 个局域网→选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**需求**”（Demands）→“**创建流量需求**”（Create Traffic Demands）→选中“**从所有**”（From All）到“**在线学习服务器**”（ELearning_Server）→单击“**创建**”（Create）。

5）按下 Ctrl+Shift+M，隐藏所有的流量需求，按下 Ctrl+M，再次显示这些需求。

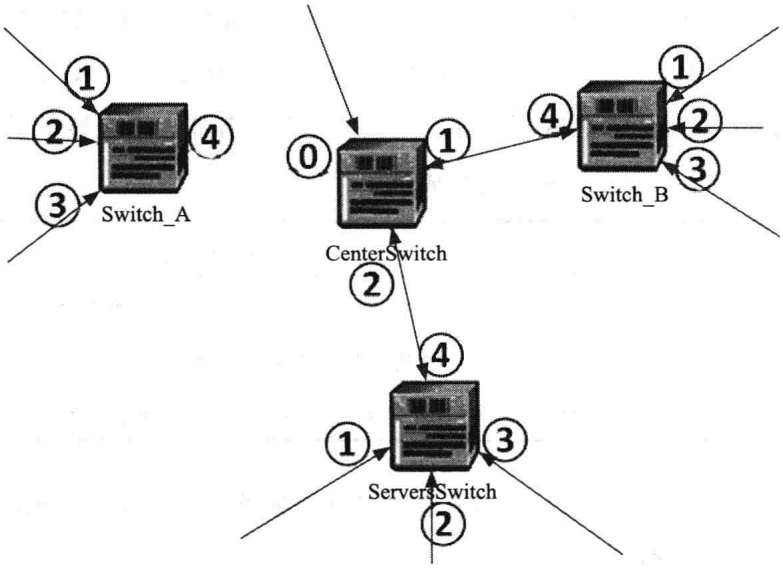
6）“**保存**”（Save）工程。

配置链路端口



编辑网络链路的属性，使它们所连接的交换机上的端口与下图中的数字一致。上图显示了交换机 Switch_A 和中心交换机 CenterSwitch 链路上设置的端口。

注：因为不能选择一个已经在使用的端口，所以如果下拉菜单中所需端口不可用，你首先需要挑选另一个链路进行修改，然后再返回到前一个链路中完成相应的修改。



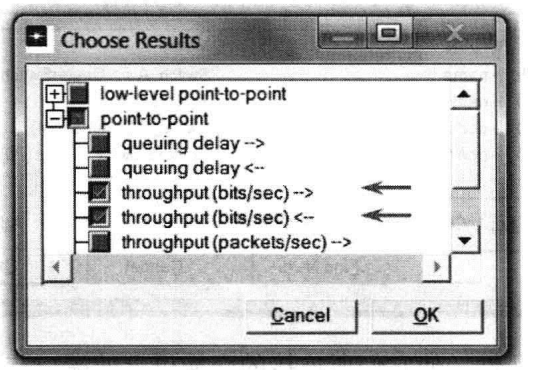
选择统计量

1）在连接**研究服务器**（Research_Server）和**服务器交换机**（ServersSwitch）的链路上右击→从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→如下图所示，选中“**吞吐量（位/秒）**”（throughput(bits/sec)）统计量 →单击“**确定**”（OK）。

2）在连接**中心交换机**（CentralSwitch）和**服务器交换机**（ServersSwitch）的链路上右击→从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→如下图

所示，选中“**吞吐量（位 / 秒）**”（throughput(bits/sec)）统计量→单击“**确定**”（OK）。

3）“**保存**”（Save）工程。



虚拟局域网场景

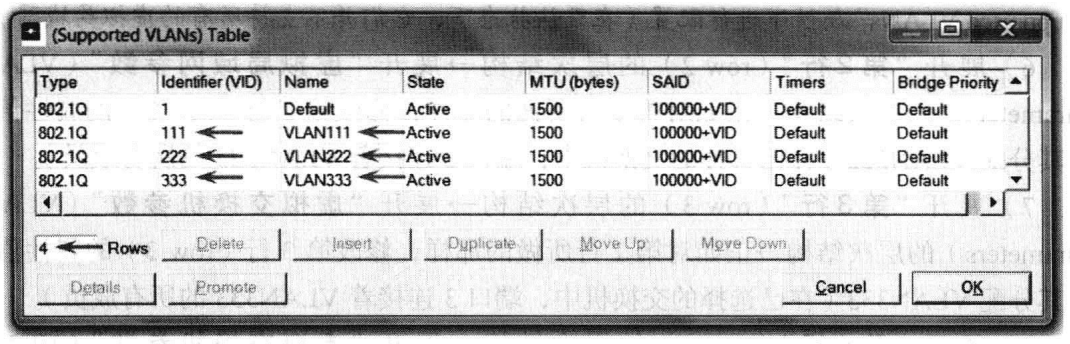
在我们刚刚创建的网络中，教授、学生、工作人员，甚至黑客都可以进入有三个服务器的网络。现在需要创建一个虚拟局域网，教授只能访问研究服务器（Research_Server），工作人员只能访问人力资源服务器（HR_Server），学生只能访问在线学习服务器（ELearning_Server）。黑客不允许访问任何一个服务器。下表显示了我们将要创建的虚拟局域网以及每一个虚拟局域网的成员。

VLAN 标识符（VID）	VLAN 成员
111	Professors_ A LAN、Professors_ B LAN 和 Research_ Server
222	Staff_A LAN、Staff_ B LAN 和 HR_ Server
333	Students_ A LAN、Students_ B LAN 和 ELearning_ Server

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 VLAN →单击“**确定**”（OK）。

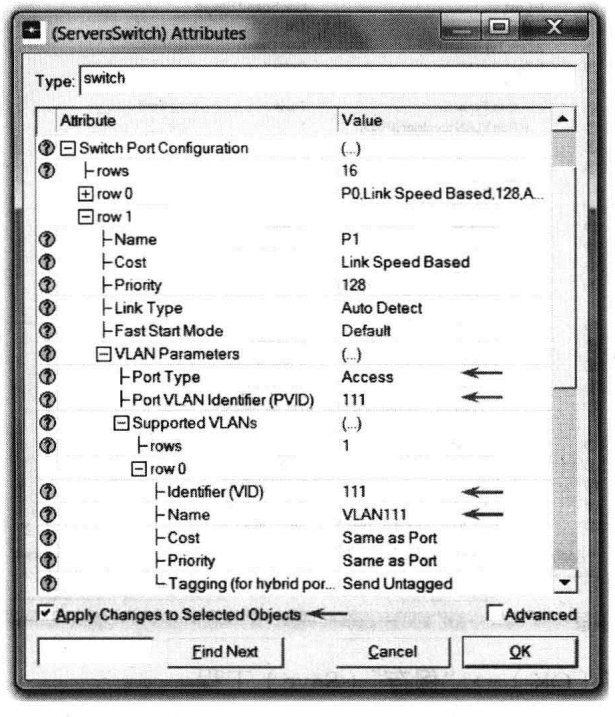
2）在新场景中，同时选中交换机 Switch_A、交换机 Switch_B、服务器交换机 ServersSwitch → 在其中任一交换机上右击 →“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

3）展开“**虚拟局域网参数**”（VLAN Parameters）的层次结构→把“**方案**”（Scheme）属性设置为“**基于端口的虚拟局域网**”（Port-Based VLAN）→如下图所示，编辑“**支持虚拟局域网**”（Supported VLANs）的属性→单击“**确定**”（OK）。



4）展开“**交换机端口配置**”（Switch Port Configuration）的层次结构。

5）展开“**第 1 行**”（row 1）的层次结构→展开“**虚拟局域网参数**”（VLAN Parameters）的层次结构→如下图所示，修改第 1 行（row 1）的属性值（在已选择的交换机中，端口 1 连接着 VLAN 111 的所有成员）：



有益提示　access 端口在转发数据包之前，从数据包中取出表示虚拟局域网的信息；而 truck 端口通常转发带虚拟局域网标记的数据包，所以数据包中总有表示虚拟局域网的信息。

在典型的配置中，access 端口用来把端节点和 VLAN 尚未感知的节点连接到 VLAN 已感知的网桥网络中，而 truck 端口用来把 VLAN 已感知的网桥 / 交换机互相连接起来。

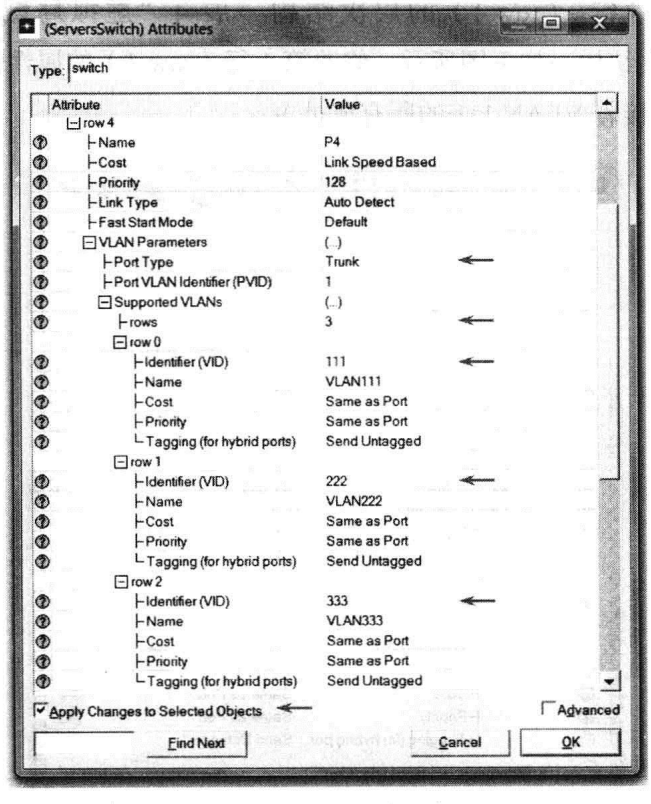
只要 VLAN 能被它周围的节点所支持，不管这些端口的类型如何，它们都可以支持尽可能多的虚拟局域网。如果我们期望 truck 端口支持多个虚拟局域网，就需要在

“Supported VLANs”属性下进行配置（在默认状态下，它们并不支持所有的虚拟局域网）。

6）展开“**第2行**”（row 2）的层次结构→展开“**虚拟局域网参数**”（VLAN Parameters）的层次结构→正如对第1行所做的那样，修改第2行（row 2）的属性值，为其分配VLAN222（在已选择的交换机中，端口2连接着VLAN222的所有成员）。

7）展开“**第3行**”（row 3）的层次结构→展开“**虚拟交换机参数**”（VLAN Parameters）的层次结构→正如对第1行所做的那样，修改第3行（row 3）的属性值，为其分配VLAN333（在已选择的交换机中，端口3连接着VLAN333的所有成员）。

8）展开“**第4行**”（row 4）的层次结构→展开“**虚拟交换机参数**”（VLAN Parameters）的层次结构→如下图所示，改变第4行（row4）的属性值：



9）单击“**确定**”（OK）→“**保存**”（Save）工程。

10）只在“**中心交换机**”（CenterSwitch）上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

11）展开“**虚拟局域网参数**”（VLAN Parameters）的层次结构→把“**方案**”（Scheme）属性设置为“**基于端口的虚拟局域网**”（Port-Based VLAN）→如同上面的第3步一样，编辑“**支持虚拟局域网**”（Supported VLANs）的属性→单击“**确定**”（OK）。

12）展开“**交换机端口配置**”（Switch Port Configuration）的层次结构。

13）正如在第8步中对服务器交换机（ServersSwitch）的第4行（row 4）所做的那样，修改“**第0行**”（row 0）、“**第1行**”（row 1）、“**第2行**”（row 2）的属性值。

14）在“**协议**”（Protocols）菜单中→“**虚拟局域网**”（VLAN）→“**可视化虚拟局域网**”（Visualize VLANs）→ 记下列表中的颜色（即标识符）→ 单击“**确定**”（OK）。再次检查下列各项：

a. 连接到同一虚拟局域网中的成员具有相同的颜色。

b. 为所有的链路分配颜色。

c. 黑客的链路属于 VID 1。

如果你的可视化结果有任何问题，请返回并检查配置场景的步骤。

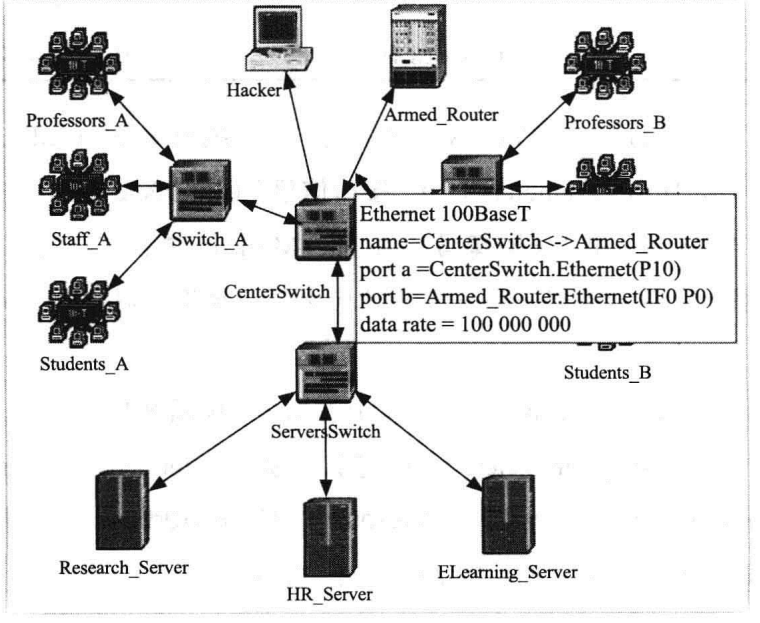
15）单击“**确定**”（OK）→“**保存**”（Save）工程。

VLAN_Comm 场景

在 VLAN 场景中，每一个虚拟局域网都不能与其他虚拟局域网的成员进行通信。假设学生需要访问研究服务器（Research_Server），教授希望访问在线学习服务器（ELearning_Server）。在这种情况下，VLAN111 需要与 VLAN333 进行通信。这可以通过在 IP 层配置路由器来实现，该路由器在两个虚拟局域网间转发流量，并为每一个虚拟局域网分配自己的 IP 子网。

1）在 VLAN 场景中，选择“**场景**”（Scenarios）菜单中的“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将新场景命名为 VLAN_Comm →单击“**确定**”（OK）。

2）从“**虚拟局域网面板**”（VLANs Palette）上添加一个“**以太网上的单臂路由器**”（ethernet_one_armed_router）→ 使用 100BaseT 链路把它与中心交换机（CenterSwitch）连接起来→单击新链路，记下连接到中心交换机（CenterSwitch）的端口号（下图中的 P10）。



有益提示　单臂路由器（one_armed_router）节点模型表示一个基于 IP 的支持以太网接口的单臂路由器，到达这个接口的 IP 数据包被路由到相同的接口，这种路由器通常用来完成虚拟局域网 VLAN 之间的通信。

3）只在“**中心交换机**”（CenterSwitch）上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**交换机端口配置**”（Switch Port Configuration）的层次结构→展开在前面的步骤中所记录的端口行号（在本书的工程中，是“**第 10 行**”（row 10））→正如在该交换机中对第 0 行（row 0）所做的那样，改变“**虚拟局域网参数**”（VLAN Parameters）和“**支持虚拟局域网**”（Supported VLANs）属性。

4）单击“**确定**”（OK）→“**保存**”（Save）工程。

现在，我们需要对每一个虚拟局域网的成员设置相同的 IP 子网，如下表所示。

VLAN ID	VLAN 成员	IP/ 掩码
111	Professors_A LAN	192.11.1.1/255.255.255.0
	Professors_B LAN	192.11.1.2/255.255.255.0
	Research_Server	192.11.1.3/255.255.255.0
222	Staff_A LAN	192.22.2.1/255.255.255.0
	Staff_B LAN	192.22.2.2/255.255.255.0
	HR_Server	192.22.2.3/255.255.255.0
333	Students_A LAN	192.33.3.1/255.255.255.0
	Students_B LAN	192.33.3.2/255.255.255.0
	ELearning_Server	192.33.3.3/255.255.255.0

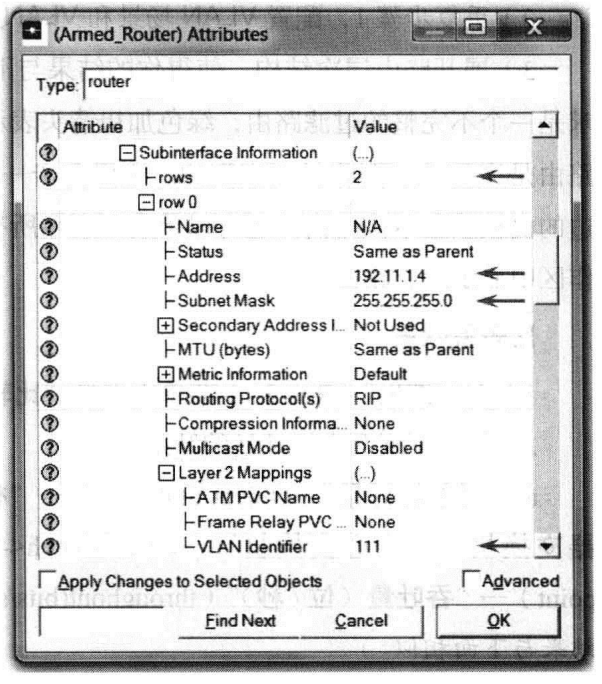
5）在上表中列出的每一个 VLAN 成员上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→“**IP 主机参数**”（IP Host Parameters）→“**接口信息**”（Interface info）→按上表所示，设置“**地址**”（Address）和“**子网掩码**”（Subnet Mask）（**注**：可以选择多个成员，同时改变它们的属性，然后重新一个一个地访问它们，编辑它们的 IP 属性值与上表中一致。）

6）在“**单臂路由器**”（Armed_Router）上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameters）→“**接口信息**”（Interface Information）→“**第 0 行**”（row 0）→设置地址为无 IP 地址（**Address = NO IP Address**）→展开“**子接口信息**”（Subinterface Information）的层次结构→把“**行数**”（rows）设为 2。

7）如下图所示，设置“**第 0 行**”（row 0）的属性值。

8）为“**第 1 行**”（row 1）设置同样的属性值，IP 地址设置为 192.33.3.4，虚拟局域网标识设置为 333。

9）单击“**确定**”（OK）→“**保存**”（Save）工程。



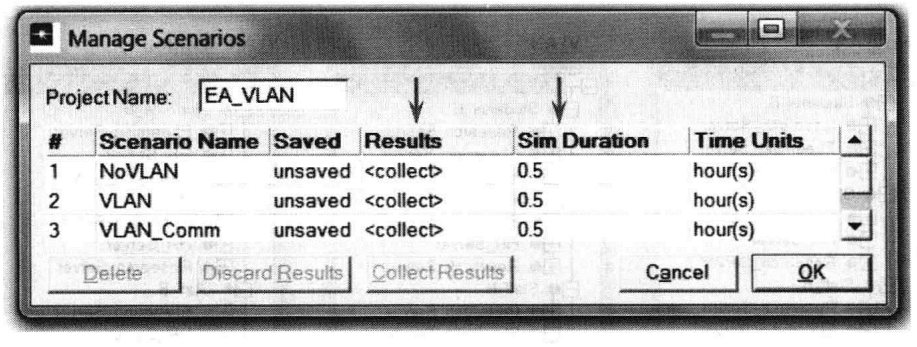
有益提示　第二层映射：VLAN 标识符（Layer 2 Mappings: VLAN Identifier）指明了子接口所属 VLAN 的标识符。在一个物理接口域内部，子接口和 VLAN 之间应为一对一的关系。

运行仿真

按以下步骤同时运行三个场景的仿真：

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）对三个场景，把其“**结果**”（Results）列的值改为 <collect>（或者 <recollect>）。如下图所示，把仿真“**持续时间**”（Duration）设置为 0.5 小时。



3）单击“**确定**”（OK），运行三个场景。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

4）三个仿真运行完毕后，“**关闭**”（Close）每一个仿真。

观察结果

比较路由

1）在 NoVLAN 场景中→选择“**协议**”（Protocols）菜单→IP →“**需求**”（Demands）→“**为配置需求显示路由**”（Display Routes for Configured Demands）→单击

“**确定**”（OK）。

2）重复步骤 1，配置 VLAN 场景和 VLAN_Comm 场景。

3）展开路由层次结构，使得你的结果与下图中的一样。红色加粗箭头表示路由需求是一个不完整的过滤路由，绿色加粗箭头表示路由需求是一个完整的路由。记下哪些路由是完整的，哪些是不完整的。可以单击一个特定的路由，选择“**是**”（Yes），在右边的面板上**显示**该路由。还可以单击“**显示所有的路由**”（Show All Routes），在工程工作区中显示所有路由。

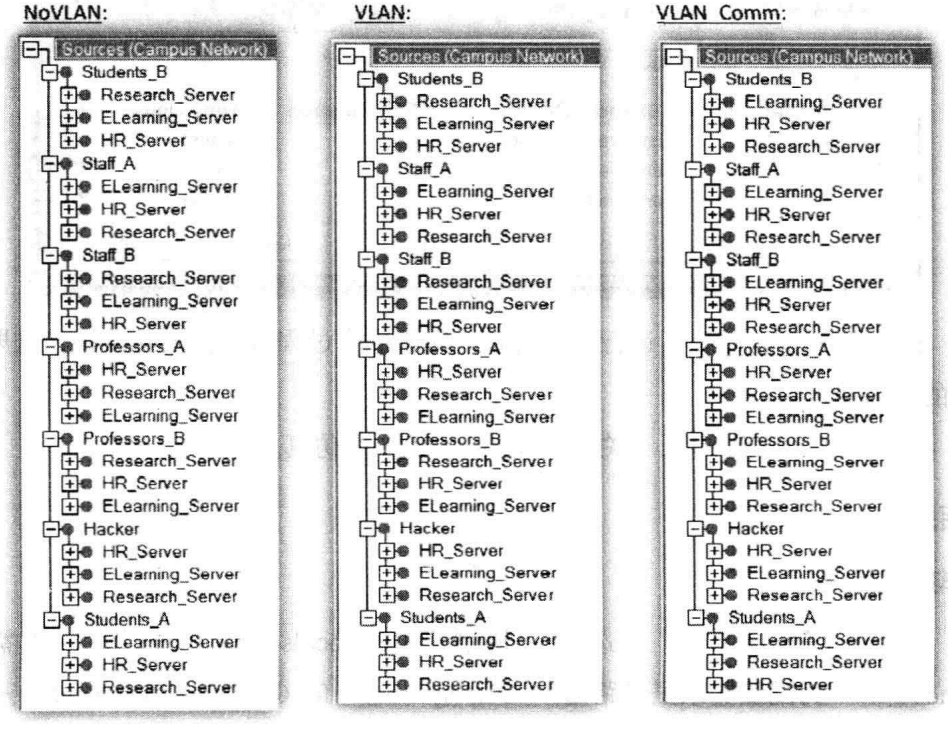
比较吞吐量

1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

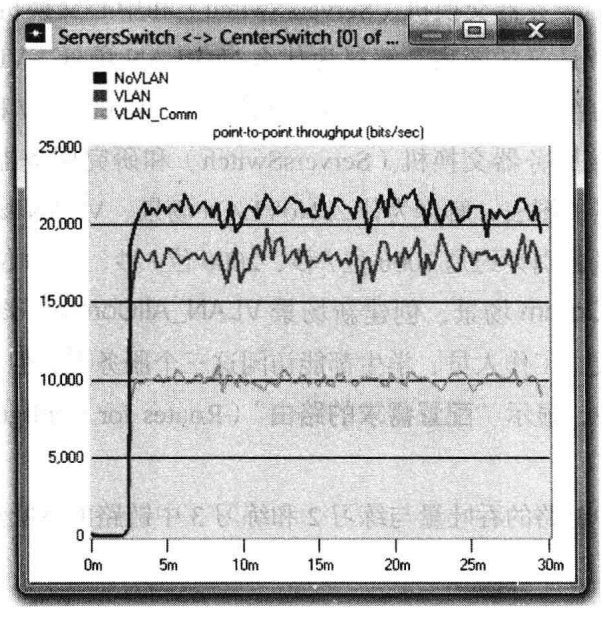
2）显示下列两个统计量的结果：

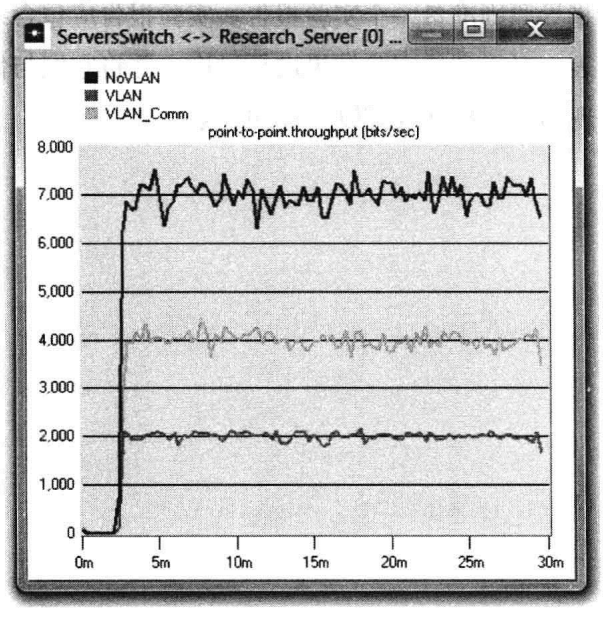
a.“**对象统计量**”（Object Statistics）→“**校园网络**”（Campus Network）→“**服务器交换机 <-> 中心交换机**”（ServersSwitch<->CenterSwitch）→“**点到点**”（point-to-point）→“**吞吐量（位 / 秒）**”（throughout(bits/sec)）。（**注**：选择吞吐量方向，使得它的结果与下面相似。）

b.“**对象统计量**”（Object Statistics）→“**校园网络**”（Campus Network）→“**服务器交换机 <-> 研究服务器**”（ServersSwitch<->ReserachServer）→“**点到点**”（point-to-point）→“**吞吐量（位 / 秒）**”（throughout(bits/sec)）。（**注**：选择吞吐量方向，使得它的结果与下面相似。）



3）结果图如下图所示。





进一步阅读

虚拟网桥局域网的 IEEE 标准（IEEE Std 802.1 Q^{TM}-2005）：http://standards.ieee.org/getieee802/download/802.1Q-2005.pdf。

练习

1. 在配置需求的路由中，详细说明这三个场景的每一条路由，解释一下为什么它

们是完整的或者不完整的。

2. 根据显示连接服务器交换机（ServersSwitch）和中心交换机（CenterSwitch）的链路吞吐量统计量的图表，解释为什么 NoVLAN 场景、VLAN 场景和 VLAN_Comm 场景的吞吐量分别大约是 21 000 位 / 秒、18 000 位 / 秒、10 000 位 / 秒。
3. 根据显示连接服务器交换机（ServersSwitch）和研究服务器（Research_Server）的链路吞吐量的图表，解释为什么 NoVLAN 场景、VLAN 场景和 VLAN_Comm 场景的吞吐量分别大约是 7000 位 / 秒、2000 位 / 秒、4000 位 / 秒。
4. 模仿 VLAN_Comm 场景，创建新场景 VLAN_AllComm。修改这个新场景，允许所有的教授、工作人员、学生都能访问这三个服务器，但不允许黑客访问。
   a. 在新场景中，显示“**配置需求的路由**”（Routes for Configured Demands）并加以讨论。
   b. 将新场景中链路的吞吐量与练习 2 和练习 3 中链路的吞吐量进行比较。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

网络设计

规划一个具有不同用户、主机和服务的网络

实验目的

本实验的目的是考虑不同用户、服务和主机位置，对网络的设计基础进行示范。

实验概览

优化网络设计是本实验的主要话题。我们通常使用仿真方法来分析网络的概念设计。在最终决定对一个网络设计进行实现之前，最初的概念设计通常要经过数次求精。本实验的目的：考虑代价约束及不同类型用户的服务需求，设计性能最优的网络。当网络建成后，在整个网络运行期间，需要定期进行网络优化，以确保网络性能达到最大化，并监控网络资源的使用。

在本实验中，你将为一个有 4 个部门（研发部、工程部、电子商务部和销售部）的公司设计网络。采用的局域网模型允许在一个仿真对象中模拟多个客户端和服务器。这个模型将会大大减少你需要做的配置工作以及运行仿真所需要的内存。你将能够为每个部门定义业务规格，用以指定该部门用户应采用的应用模式。在实验的最后部分，你将研究不同的设计方案是如何对网络性能产生影响。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的第 3 章。

💻 浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 添加交换机（Adding Switches）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials> _ NetDesign，将场景命名为 SimpleNetwork → 单击“**确定**”（OK）。

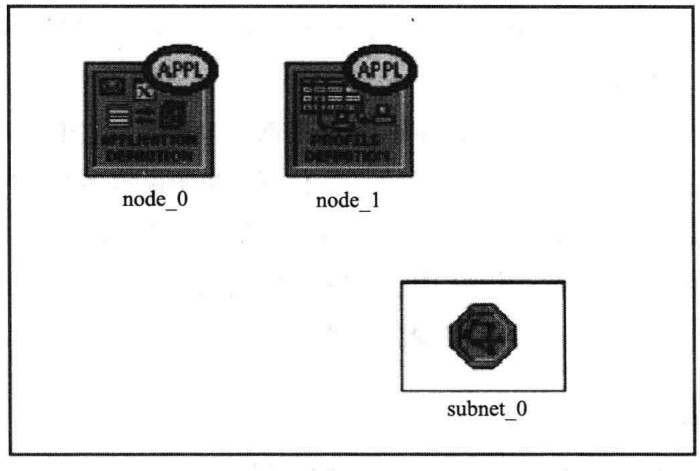
3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard: Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**校园**”（Campus）→ 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**大小**”（Size）下拉菜单中选择“**英里**”（Miles），“**X 范围**”（X Span）和“**Y 范围**”（Y Span）都设置为 1 → 单击“**下一步**”（Next）两次 → 单击“**确定**”（OK）。

初始化网络

1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部；如果不在，请单击按钮打开它。确保在对象面板的下拉菜单中选择了“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

2）为工程区添加对象面板上的下列对象：“**应用配置**”（Application Config）、“**业务规格配置**”（Profile Config）、“**子网**”（subnet）。

在“**对象面板**”上单击一个对象的图标以添加对象→移动鼠标至工作区→单击并放置此对象，完毕后右击。工作区中应包含下图所示的三个对象。



3）关闭“**对象面板**”对话框，“**保存**”（Save）工程。

有益提示　应用配置（Application Config）用来指定将在用户业务规格配置中用到的应用。

业务规格配置（Profile Config）对一个或一组用户在一段时间内所使用的应用的活动模式进行描述。在使用该对象之前，必须用应用配置（Application Config）对象对应用进行定义。

配置服务

1）在“**应用配置**”（Application Config）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**名字**”（name）属性改为“**应用**”（Applications）→把“**应用定义**”

（Application Definitions）属性改为“**默认**”（Default）→单击“**确定**”（OK）。

2）在“**业务规格配置**”（Profile Config）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**名字**”（name）属性改为“**业务规格**”（Profiles）→把“**业务规格配置**”（Profile Config）属性改为“**样本业务规格**”（Sample Profiles）→单击“**确定**”（OK）。

样本业务规格（Sample Profiles）为工程师、研究人员、销售人员和多媒体工作者等用户提供他们所使用的应用模式。

配置子网

1）在“**子网**”（subnet）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**名字**”（name）属性改为“**工程**”（Engineering），单击“**确定**”（OK）。

2）在“**工程**”（Engineering）节点上双击。你将会看见一个空工作区，表明子网中没有任何对象。

3）打开“**对象面板**”（Object Palette），确保其仍然设置为“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

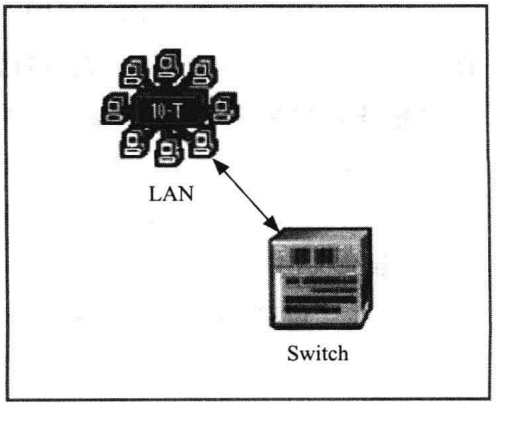
4）在子网工作区中添加如下的对象：10BaseT LAN、ethernet16 Switch 和一条链接它们的 10BaseT 链路→“**关闭**”（Close）面板。

5）在 10BaseT LAN 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**名字**”（name）属性改为 LAN→你可以看到，“**工作站数**”（Number of Workstations）的属性值为 10。单击“**应用**”（Application）的“**值**”（Value）一列：“**支持的业务规格**”（Supported Profiles）属性，选择“**编辑**”（Edit）。你将看到一个表，请按如下步骤设置表中的值：

a. 把“**行数**”（rows）设置为 1。

b. 把“**业务规格名**”（Profile Name）设置为 Engineer。（**注**：Engineer（工程师）是“**业务规格配置**”（Profile Config）对象提供的一个“样例”）→单击“**确定**”（OK）两次。

我们刚才创建的对象等同于一个包含 10 个工作站的星形拓扑结构的局域网。在这个局域网中，用户产生的流量类似“engineers”（“**业务规格配置**”（Profile Config）对象提供的一个样例）产生的流量。



6）把 ethernet16 Switch 重新命名为 Switch。

7）子网如右图所示。

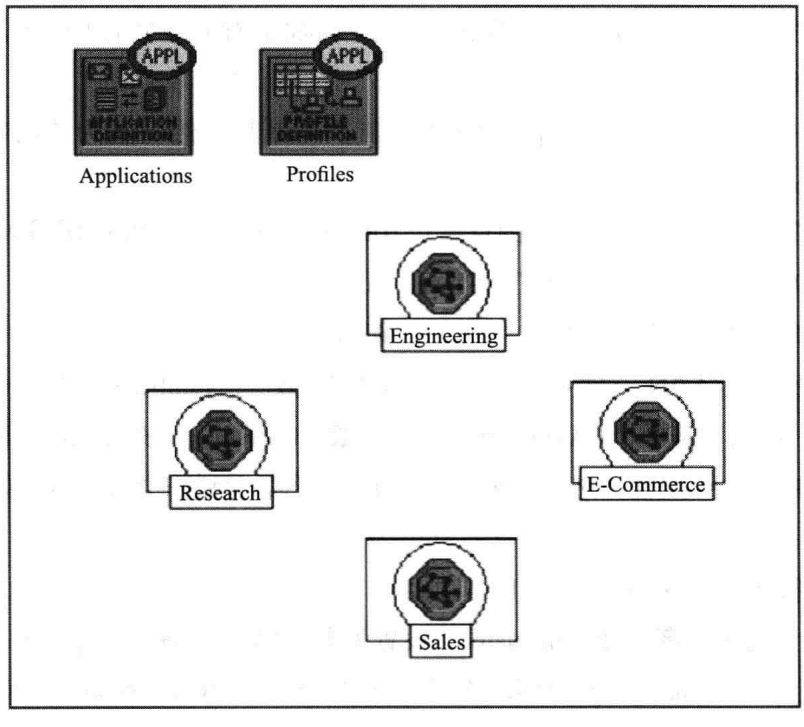
8）“**保存**”（Save）工程。

配置所有部门

1）现在，已经完成了工程部门子网的配置。单击“**返回上一级**”（Go to the higher level）按钮，返回到主工程区。除了支持的业务规格（supported profiles）外，公司里其他部门的子网与工程部门的子网很相似。

2）配置 3 个子网，使它们与刚才我们配置的工程子网 Engineering 相同：单击“**工程**”（Engineering）节点→从“**编辑**”（Edit）菜单中，选择“**复制**”（Copy）→从“**编辑**”（Edit）菜单中，选择“**粘贴**”（Paste）3 次，把子网一个个放置在工作区中，这样就创建了 3 个新的子网。

3）如下图所示，对新创建的子网进行重命名（在子网上右击选择“**命名**”（Set Name））和布置。



4）在“**研究**”（Research）子网上双击→“**编辑**”（Edit）其“**局域网**”（LAN）的属性→“**编辑**”（Edit）“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profiles）属性→把“**业务规格名**”（Profile Name）的值从 Engineer 改为 Researcher →单击“**确定**”（OK）两次→单击按钮，返回上一级。

5）在“**销售**”（Sales）子网上重复步骤 4，把它的“**业务规格名**”（Profile Name）改为“**销售人员**”（Sales Person）。

6）在“**电子商务**”（E-Commerce）子网上重复步骤 4，把它的“**业务规格名**”（Profile Name）改为“**电子商务用户**”（E-commerce Customer）。

7）“**保存**”（Save）工程。

配置服务器

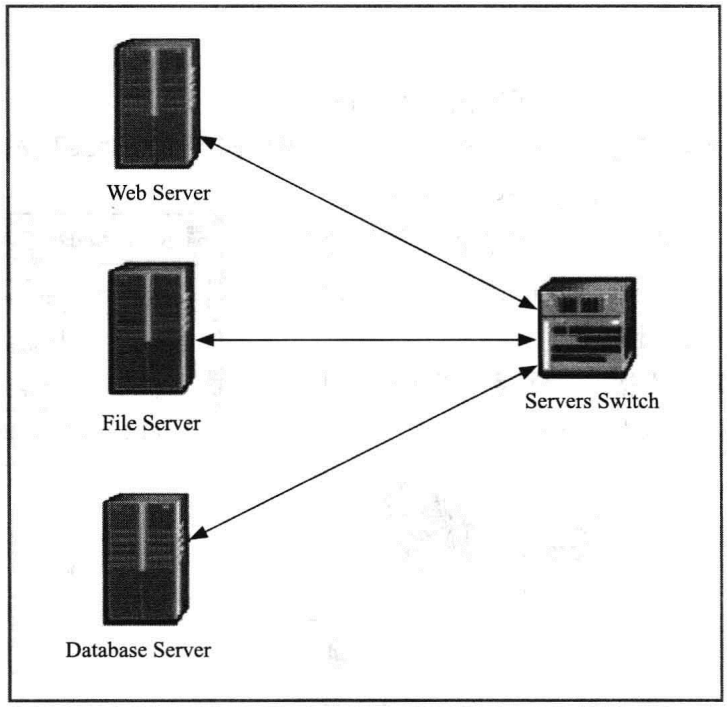
现在，我们需要创建一个包含服务器的子网。这些服务器必须支持我们部署的业务规格中所定义的应用。可以通过编辑“**业务规格**”（Profile）节点属性来重新检查那些应用。检查“**业务规格配置**”（Profile Config）层次结构下的“**应用配置**”（Application Config）层次结构中的每一行。可以看到，需要服务器支持以下应用：网页浏览、电子信箱、远程登录、文件传输、数据库和文件打印。

1）打开“**对象面板**”（Object Palette），添加一个新“**子网**”（subnet）→把新的子网重命名为“**服务器**”（Servers）→双击“**服务器**”（Servers）节点，进入其工作区。

2）在“**对象面板**”上，添加 3 个以太网服务器（ethernet_servers）、一个交换机（ethernet16_switch）和 3 条连接服务器与交换机的 10BaseT 链路。

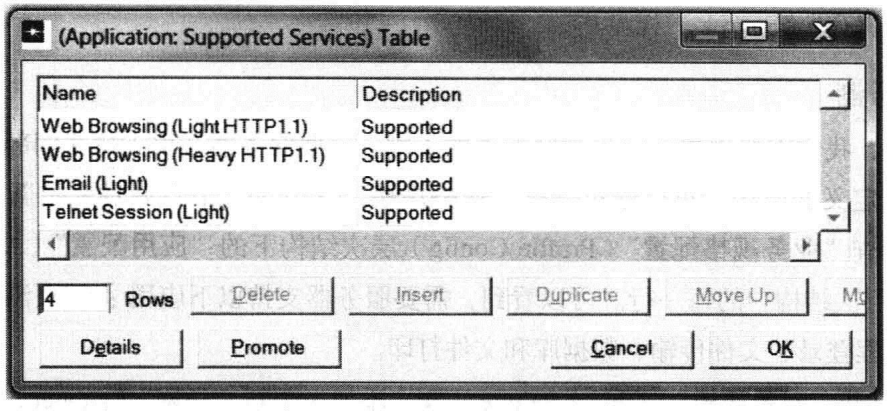
3）关闭“**对象面板**”。

4）如下图所示，重新命名服务器和交换机。



5）在之前创建的每一个服务器上右击，“**编辑**”（Edit）“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）属性。

a. 对“**Web 服务器**”（Web Server）添加如下图所示的 4 行，支持下面的服务：Web Browsing(Light HTTP1.1)、Web Browsing(Heavy HTTP1.1)、Email(Light)、Telnet Session(Light)。



b. 对“**文件服务器**”（File Server）添加两行，支持下面的服务：File Transfer (Light)、File Print(Light)。

c. 对“**数据库服务器**”（Database Server）添加一行，支持下面的服务：Database Access(Light)。

6）单击“**返回上一级**”（Go to the higher level）按钮，返回到工程区。

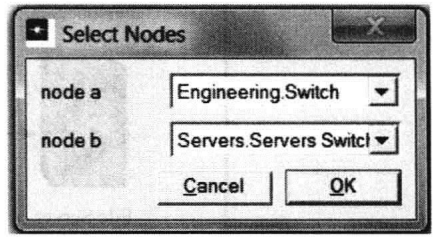
7）“**保存**”（Save）工程。

连接子网

现在，已经为连接所有的子网做好了准备。

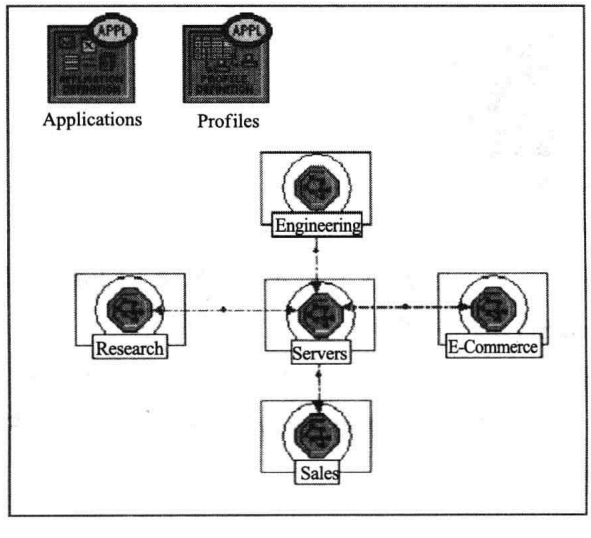
1）打开“**对象面板**”（Object Palette），添加四条 100BaseT 链路，把所有部门的子网连接到“**服务器**”（Servers）子网上。

当创建每一个链路时，请确保配置该链路互连了两个子网中的交换机。如右图所示，从下拉菜单中选择它们，完成以上任务。



2）关闭“**对象面板**”，“**保存**”（Save）工程。

3）现在，网络如下图所示。

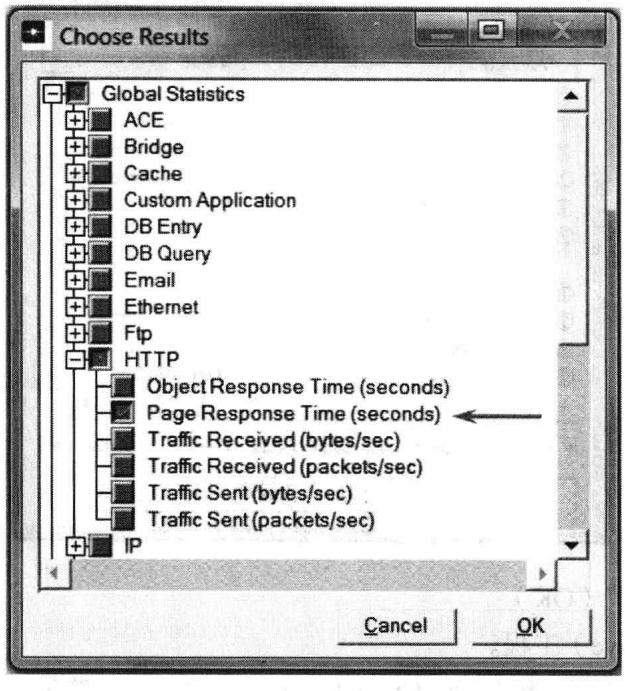


选择统计量

我们将收集许多可用的统计量中的一个，以便于检验网络的性能。

1）在工程区的任一位置上右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，选择以下统计量：



3）单击“**确定**”（OK）。

有益提示　**页面响应时间**（Page Response Time）是获取整个网页所需要的时间。

配置仿真

1）单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮。

2）把“**持续时间**”（Duration）设置为 **30.0 分钟**。

3）单击“**确定**”（OK）。

复制场景

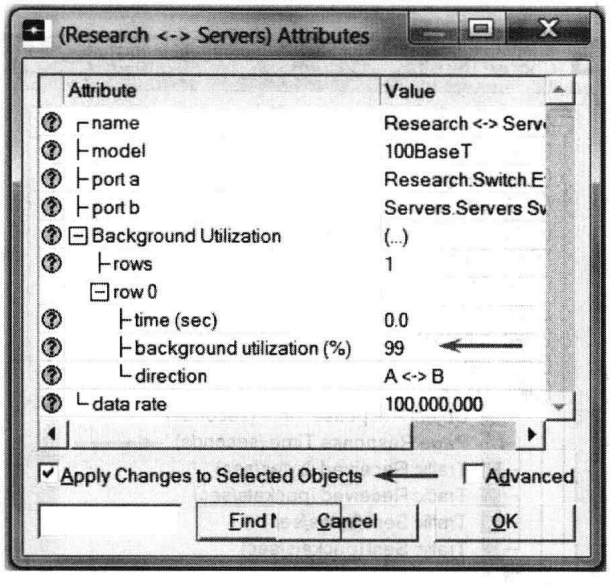
在刚刚创建的网络中，我们假定链路中没有背景流量。但在实际网络中，链路中通常存在一些背景流量。现在创建一个与 SimpleNetwork 场景一样的网络，但这个网络在 100BaseT 链路中有一些背景流量。

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中，选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 BusyNetwork →单击“**确定**”（OK）。

2）同时选择所有的 100BaseT 链路（按住 Shift 键，单击所有链路）→在其中

任一链路上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

3）展开“**背景利用率**”（Background Utilization）属性的层次结构→展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→如下图所示，把“**背景利用率**”（Background Utilization(%)）属性设置为 99。



4）单击“**确定**”（OK）。

5）“**保存**”（Save）工程。

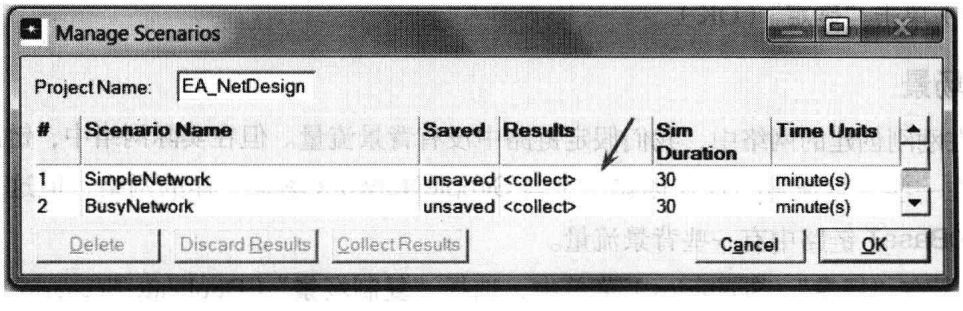
有益提示　链路利用率（Link Utilization）是已使用的链路带宽所占的百分比。

运行仿真

请按如下步骤同时运行两个场景的仿真：

1）“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenario）。

2）把两个场景中“**结果**”（Results）列的值改成 <collect>（或者 <recollect>）。与下图进行比较。



3）单击“**确定**”（OK），运行两个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理速度。

4）这两次仿真运行完成以后，单击“**关闭**”（Close）。

5）“**保存**”（Save）工程。

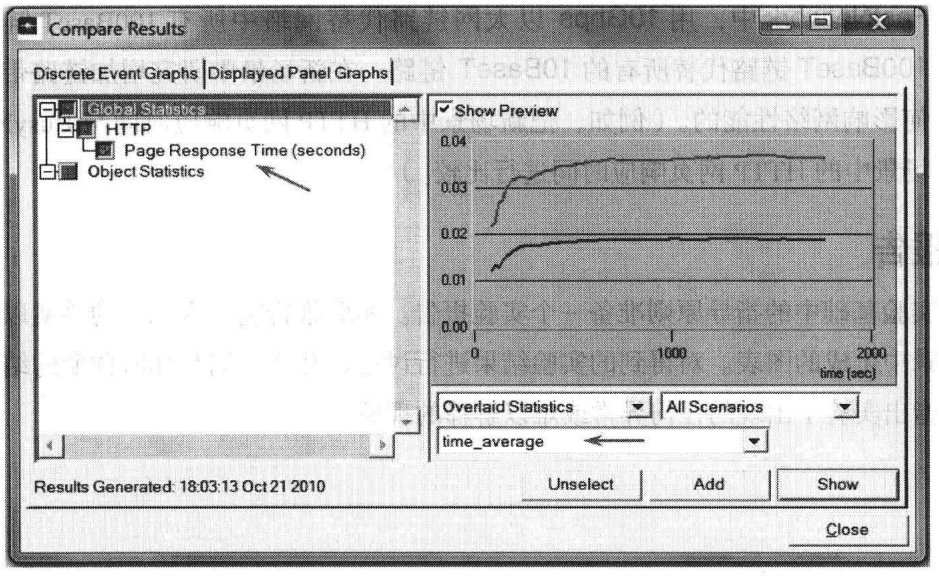
观察结果

按以下步骤观察并且分析结果：

1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

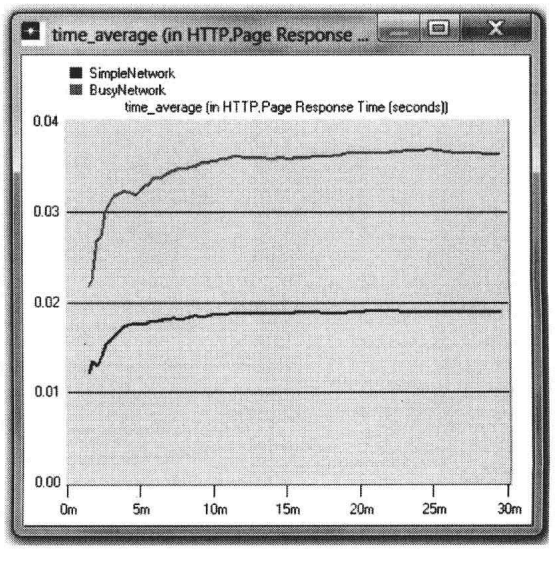
2）如下图所示，在“**比较结果**”（Compare Results）对话框的右下方的下拉菜单中，把“**保持原样**”（As Is）改为“**时间平均**”（time_average）。

3）选择“**页面响应时间（秒）**”（Page Response Time(seconds)）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮。结果如下图所示。（**注：**根据不同的节点位置，结果可能有点轻微变化。）



进一步阅读

OPNET 配置应用程序和业务规格：在“**协议**”（Protocols）菜单中，选择“**应用**”（Applications）→“**模型使用指南**”（Model Usage Guide）→“**配置业务规格与应用**”（Configuring Profiles and Applications）。



练习

1. 分析我们得到的关于 HTTP 网页响应时间的结果。再收集 4 个你选择的其他统计量，重新运行

SimpleNetwork 和 BusyNetwork 两个网络场景的仿真，作图比较收集到的统计量。对这些结果进行评价。

2. 在 BusyNetwork 场景中，对服务器中 CPU 的**利用率**（Utilization）进行研究（在每一个服务器上右击，选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→ CPU →“**利用率**”（Utilization）。
3. 创建与 BusyNetwork 场景一样的仿真场景 Q3_OneServer。用一台能够支持所有所需服务的服务器代替三台服务器，研究该服务器的 CPU **利用率**（Utilization），把这个利用率与前面的练习中获得的三个 CPU 利用率进行比较。
4. 创建与 BusyNetwork 场景一样的仿真场景 Q4_FastNetwork。在 Q4_FastNetwork 中，用 10Gbps 以太网链路代替网络中所有 100BaseT 链路，用 100BaseT 链路代替所有的 10BaseT 链路。在新场景中研究增加链路带宽是如何影响网络性能的。（例如，把新场景中的 HTTP 网页响应时间与 BusyNetwork 场景中的 HTTP 网页响应时间进行比较。）

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

路由信息协议

一种基于距离矢量算法的路由协议

实验目的

本实验的目的是配置路由信息协议（Routing Information Protocol，RIP）模型，并分析其性能。

实验概览

网络中的路由器根据数据包中的目的地址，通过查找转发表来决定哪个输出端口是把数据包发送到目的地的最佳选择。路由最根本的问题是：路由器如何获得转发表中的信息？

需要用路由算法来建立路由表，也称为转发表。路由算法寻找任意两个节点间的最小代价路径，这个代价等于该路径上所有边的代价总和。在大多数实际网络中我们通过运行节点之间的路由协议来获取路由，这种协议为我们提供了一种在链路和节点出故障，以及链路代价出现变化的情况下寻找最小代价路径的分布式动态方法。

主流路由算法之一就是距离矢量算法（distance-vector algorithm）。每一个节点维护着一个矢量，这个矢量反映了该节点到其他所有节点的距离（代价），节点把这个矢量分发给自己的直接邻居节点。路由信息协议是建立在距离矢量算法上的典型路由协议。运行 RIP 的路由器定期地（例如每 30 秒）发送路由通告，每当来自另一个路由器的触发更新导致本地路由器更新了自己的路由表时，本地路由器也要发送更新路由消息给邻居节点。

可以利用因特网控制报文协议（Internet Control Message Protocol，ICMP）来分析已创建路由的性能。它可用来为路由器之间的流量进行建模，而无须在端节点中运行应用程序。

在本实验中，你将建立一个使用路由信息协议的网络，分析路由器中产生的路由表，观察链路故障是如何影响 RIP 协议的。你还将使用 ICMP 协议产生响应应答信息（例如 ping）来对已建立的路由进行分析。

实验前的准备

阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 3.3.2 节。

浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 地址解析协议（The Address Resolution Protocol，ARP）。
- 带有多个网络的地址解析协议（ARP with Multiple Networks）。
- 动态主机配置协议（Dynamic Host Configuration Protocol，DHCP）。
- 路由（Routing）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials> _ RIP，将场景命名为 No_Failure → 单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard: Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**校园**”（Campus）→ 单击“**下一步**”（Next）3 次 → 单击“**确定**”（OK）。

创建和配置网络

请按如下步骤初始化网络：

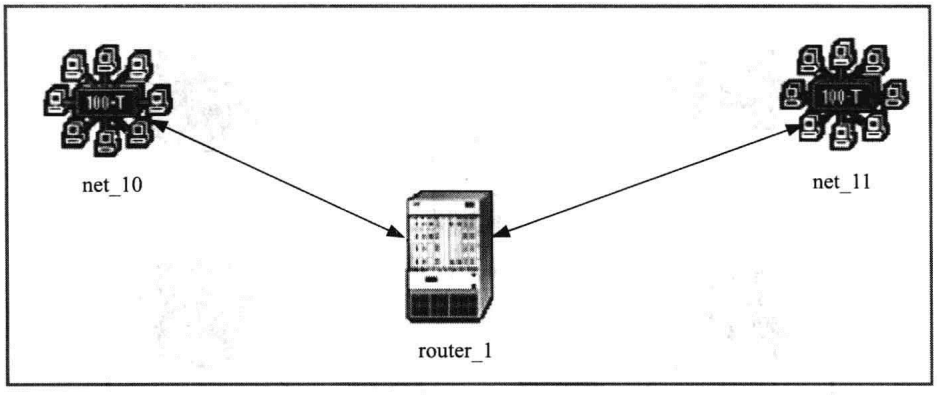
1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部；如果不是，请单击打开它。确保在“**对象面板**”的下拉菜单中选择了“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

2）从“**对象面板**”上为工程工作区添加下列对象：一个 ethernet4_slip8_gtwy 路由器、两个 100BaseT_LAN 对象。

单击“**对象面板**”上的图标，从面板上添加对象→移动鼠标至工作区→单击，放置对象→右击，停止创建该类型的对象。

3）如下图所示，使用 100BaseT 双向链路把刚才添加的对象连接起来，为对象重新命名（在节点上右击→“**命名**”（Set Name））。

4）关闭“**对象面板**”对话框，“**保存**”（Save）工程。



有益提示　ethernet4_slip8_gtwy 节点模型表示一个基于 IP 的网关，它支持 4 个以太网集线器接口和 8 个串行链路接口。到达任何一个接口的 IP 数据包将会根据它们的目的 IP 地址由路由器转发到一个合适的输出接口。RIP 和 OSPF 协议可用来动态地创建网关路由表。

配置路由器

1）在路由器 router_1 上右击 →“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameters）的层次结构，设置以下参数：

Routing Table Export=Once at End of Simulation。这保证路由器在仿真结束时把路由表导出到 OPNET 仿真日志文件上。

2）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

添加剩余的局域网

1）同时选择（按 Ctrl+A 键）工程工作区中已经存在的 5 个对象（一个路由器、两个局域网和两条链路）。

2）按 Ctrl+C 键，复制已经选择的对象，按 Ctrl+V 键 3 次，粘贴以生成 3 个新的对象副本。

3）如下图所示，放置这些对象，并对它们重命名。

4）如下图所示，用 PPP_DS3 链路来连接路由器。

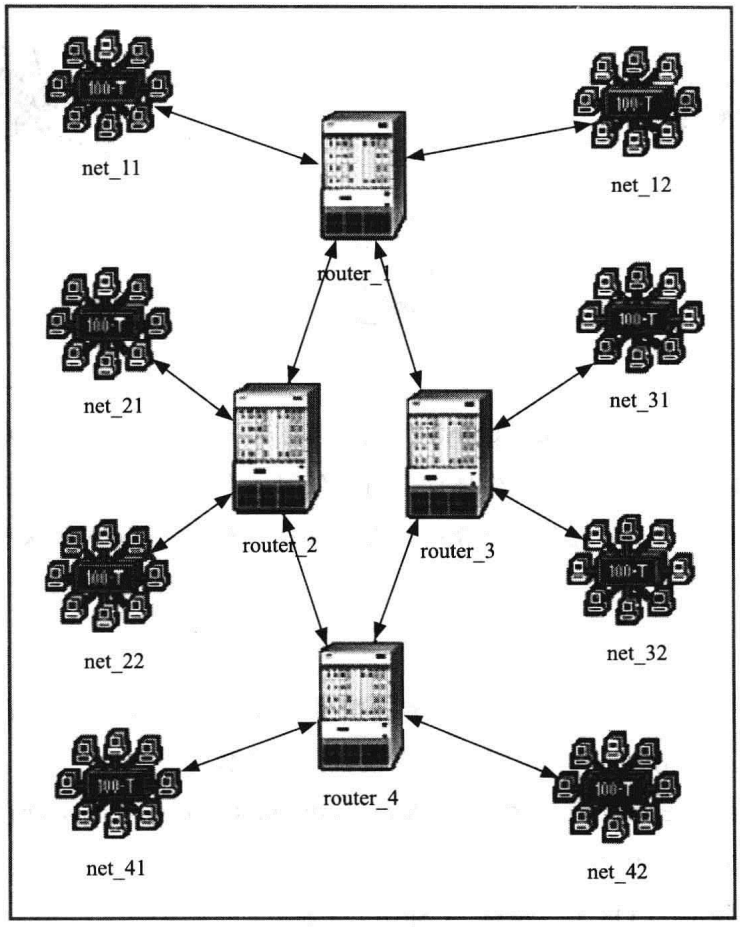
有益提示　PPP_DS3 链路的数据传输率为 44.736Mbps。

选择统计量

按以下步骤收集下面的统计量以检验路由信息协议的性能：

1）在工程区的任一位置上右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，选中以下统计量。



a. “**全局统计量**”（Global Statistics）→ RIP →“**发送流量（位/秒）**”（Traffic Sent(bit/sec)）。

b. “**全局统计量**”（Global Statistics）→ RIP →“**接收流量（位/秒）**”（Traffic Received (bits/sec)）。

c. “**节点统计量**”（Nodes Statistics）→“**路由表**”（Router Table）→“**更新总数**”（Total Number of Updates）。

3）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示 RIP 流量（RIP traffic）是所有使用 RIP 作为路由协议的节点每秒发送/接收的 RIP 更新流量（位）的总和。

更新总数（Total Number of Updates）是指节点的路由表进行更新的总次数。（例如，添加一个新路由，删除一个存在的路由。）

配置仿真

现在，我们将配置一些仿真参数：

1）单击按钮，将会出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 **10.0 分钟**。

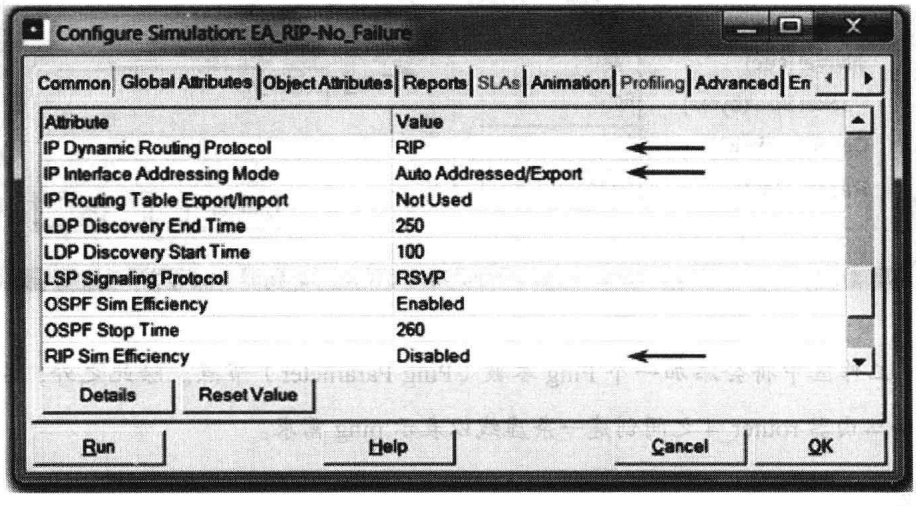
3）单击“**全局属性**”（Global Attributes）标签，改变以下属性：

a. **IP Dynamic Routing Protocol=RIP**。这样即把网络中所有路由器的动态路由协议设置为 RIP 协议。

b. **IP Interface Addressing Mode=Auto Addressed/Export**。设置 IP 接口编址方式为自动配置，并把地址导出到文件中。

c. **RIP Sim Efficiency=Disabled**。如果网络中出现任何变化，RIP 协议会不断更新路由表（正如我们在场景二中所见）。

4）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。



有益提示　自动配置地址（Auto Addressed）意味着在仿真过程中，所有的 IP 接口都会自动分配 IP 地址。分配的地址类别（如 A、B、C）取决于所设计的网络中主机的数量，分配给这些接口的子网掩码都是这个类的默认子网掩码。

导出（Export）使得接口自动分配的 IP 地址被导出到一个文件中（这个文件的名称是 <net_name>-ip_addresses.gdf，它将保存在主模型目录中）。

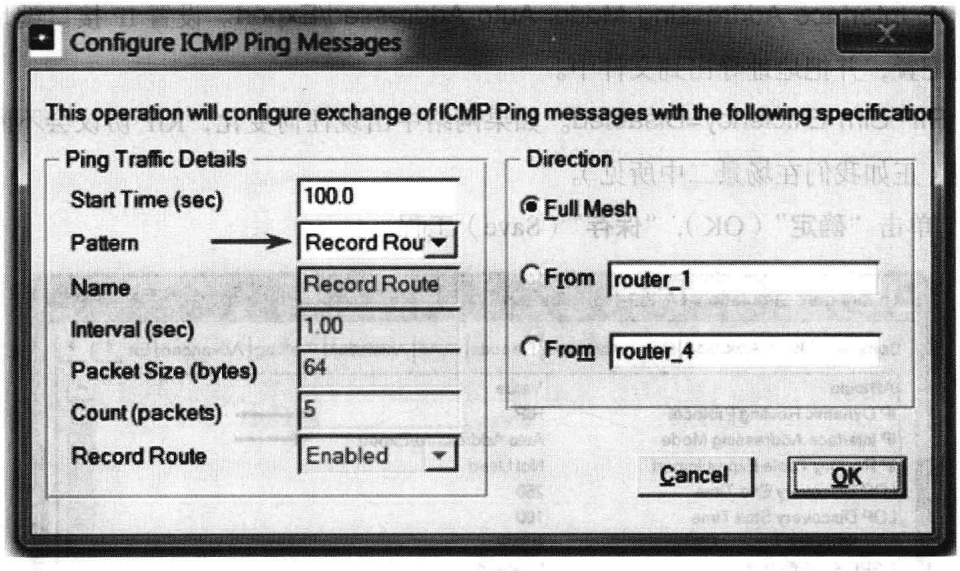
Ping 场景

在这个场景中，我们将使用 ping 模型，打印出当 ICMP 请求信息发送到目的地和 ICMP 响应信息从目的地返回时所遍历过的节点列表。遍历过的节点将记录在仿真日志文件中。

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中，选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 **ICMP_Ping** → 单击“**确定**”（OK）。

2）同时选择路由器 router_1 和路由器 router_4（按住 Shift 键，单击这两个路由器）→选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**需求**”（Demands）→“**配置被选节点的 Ping 流量**”（Configure Ping Traffic on Selected Nodes）。

3）如下图所示，把“**模式**”（Pattern）属性改为“**记录路由**”（Record Route）→单击“**确定**”（OK）。



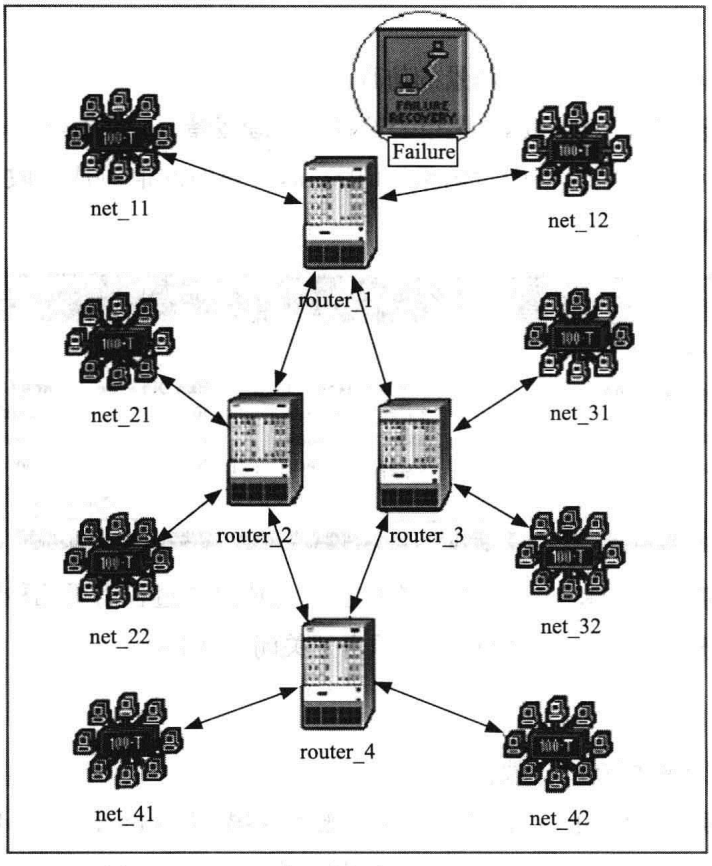
注：工作区中将会添加一个 Ping 参数（Ping Parameter）节点。除此之外，在路由器 router_1 和路由器 router_4 之间创建一条虚线以表示 ping 需求。

故障场景

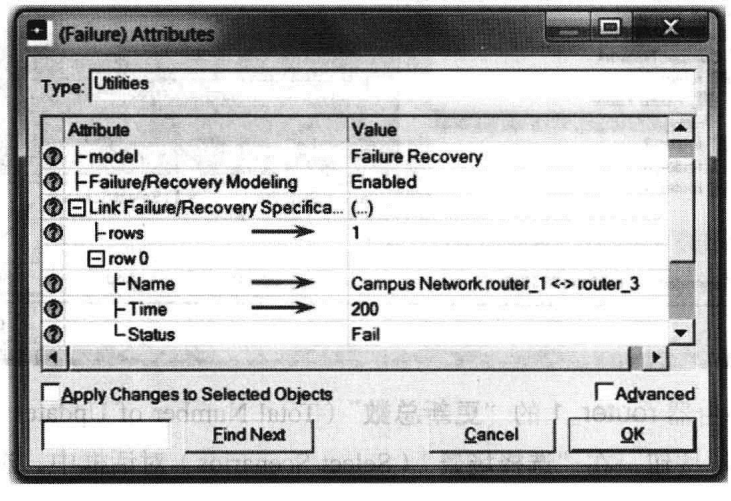
我们在 No_Failure 场景的网络中创建的路由器将建立自己的路由表，这些路由表不需要进一步更新，因为我们并不对任何节点或者链路的故障进行仿真。在下面创建的新场景中，我们将“仿真故障”，并比较无故障与有故障这两种情况下的路由器行为。

1）单击 Ctrl+1 键，返回到 No_Failure 场景→在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 Failure →单击“**确定**”（OK）。

2）单击 按钮，打开“**对象面板**”（Object Palette）对话框→从下拉菜单中选择“**工具**”（Utilities）面板→如下图所示，在工作区中添加一个“**故障恢复**”（Failure Recovery）对象，将其命名为 Failure →关闭“**对象面板**”对话框。



3）在“**故障**”（Failure）对象上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**链路故障/恢复规范**”（Link Failure/Recovery Specification）的层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →如下图所示，设置“**第 0 行**”（row 0）的属性：



这将使得在仿真中路由器 router_1 和 router_3 之间的链路出现 200 秒的故障。

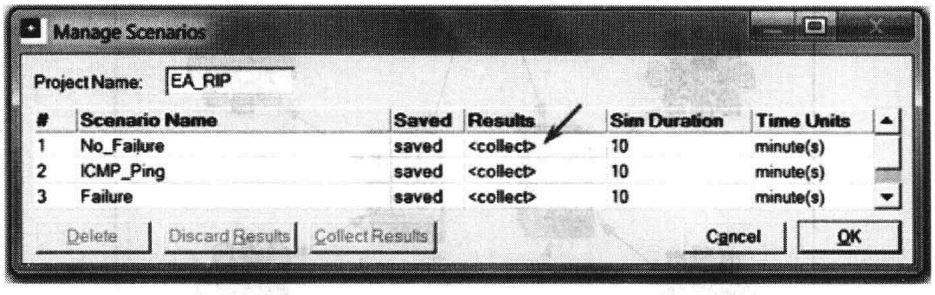
4）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

运行仿真

请按如下步骤同时运行三个场景的仿真：

1）选择“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）如下图所示，把场景中“**结果**”（Results）列中的值改成“**收集**”（<collect>）（或者“**重新收集**”（<recollect >））。



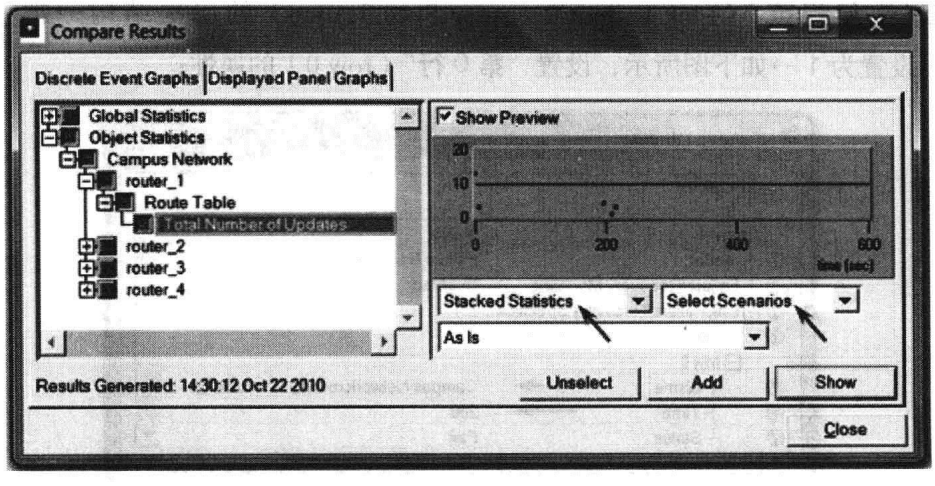
3）单击“**确定**”（OK），运行这 3 个仿真。完成这个过程需要几秒钟。

4）对这 3 次场景进行仿真完毕后，单击“**关闭**”（Close）。

观察结果

按以下步骤比较更新的次数：

1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）→如下图所示，在下拉菜单中，选择“**堆栈式显示统计结果**”（Stacked Statistics）和“**选择场景**”（Select Scenarios）。

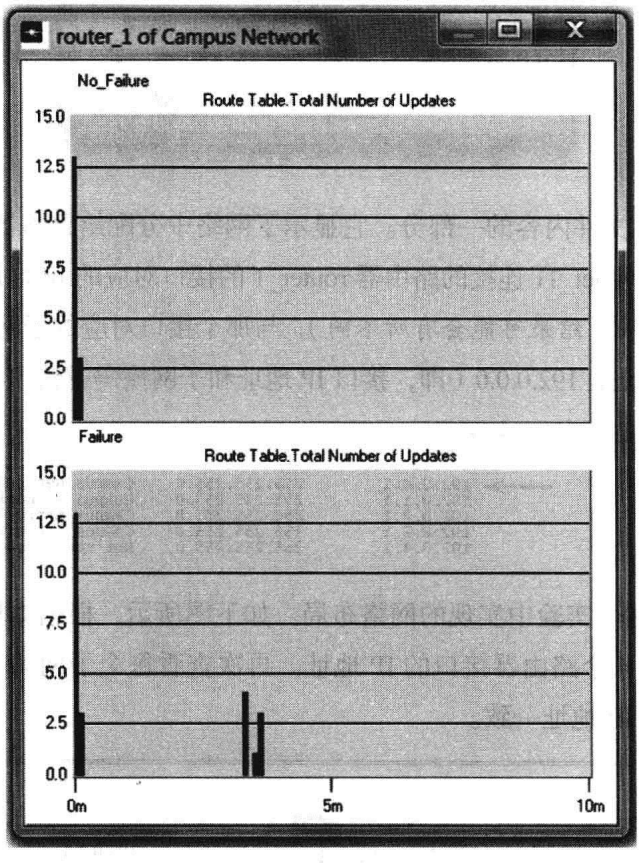


2）选择路由器 router_1 的“**更新总数**”（Total Number of Updates）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮→在“**选择场景**”（Select Scenarios）对话框中，选择 NO_Failure 和 Failure 两个场景。

3）将获得两个场景的仿真结果图，在每一张图中右击，选择“**绘图风格**”（Draw

Style）→“**条状**”（Bar）。

4）结果图如下图所示（在你感兴趣的区域，可以通过拖动这个区域框对图的大小进行缩放）：

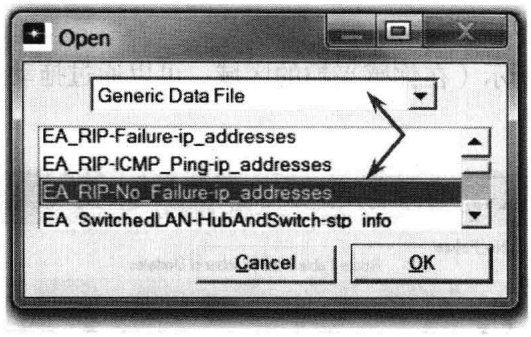


获取接口的 IP 地址

在检查路由表的内容之前，需要确定当前网络中所有接口的 IP 地址信息。回想一下，在仿真过程中，这些 IP 地址是自动分配的，我们可以设置全局属性（Global Attributes）IP 接口编址模式（IP Interface Addressing Mode），把地址信息导出到一个文件中。

1）在“**文件**”（File）菜单中，选择“**模型文件**”（Model Files）→“**刷新模型目录**”（Refresh Model Directories）。这将会使 OPNET IT Guru 搜索模型目录并对其文件列表进行更新。

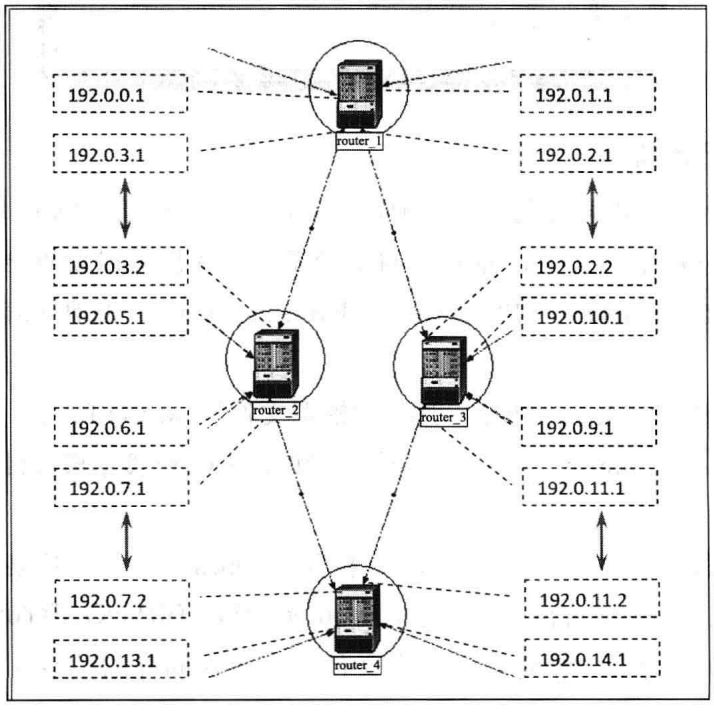
2）在“**文件**”（File）菜单中，选择“**打开**”（Open）→ 在下拉菜单中，选择“**通用数据文件**”（Generic Data File）→ 选择 <your initials>_RIP-NO_Failure-ip_addresses 文件（在 Failure 场景中创建的另一个文件应该包含同样的信息）→单击“**确定**”（OK）。



3）下图是 gdf 文件内容的一部分。它显示了网络中分配给路由器 router_1 接口的 IP 地址。例如，与子网 net_11 连接的路由器 router_1 的接口对应的 IP 地址是 192.0.0.1（**注**：根据节点位置的不同，结果可能会有所不同）。与那个接口对应的子网掩码表明此接口连接的子网的网络地址是 192.0.0.0（即，接口 IP 地址和子网掩码逻辑“与”的结果）。

```
Node Name: Campus Network.router_1
 Iface Name          Iface Index   IP Address       Subnet Mask      Connected Link
 ----------          -----------   ---------------  ---------------  ----------------
 IF0                     0         192.0.0.1        255.255.255.0    Campus Network.router_1 <-> net_11
 IF1                     1         192.0.1.1        255.255.255.0    Campus Network.router_1 <-> net_12
 IF10                   10         192.0.2.1        255.255.255.0    Campus Network.router_1 <-> router_3
 IF11                   11         192.0.3.1        255.255.255.0    Campus Network.router_1 <-> router_2
 Loopback               12         192.0.4.1        255.255.255.0    Not connected to any link.
```

4）打印出在这个实验中实现的网络布局。如下图所示，根据 gdf 文件包含的信息，在这个布局上写下 4 个路由器接口的 IP 地址。再次查看每个子网的 IP 地址，看是否与子网连接的接口的 IP 地址一致。



获取 ping 报告

请按以下步骤检查路由器 router_1 的 ping 报告的内容：

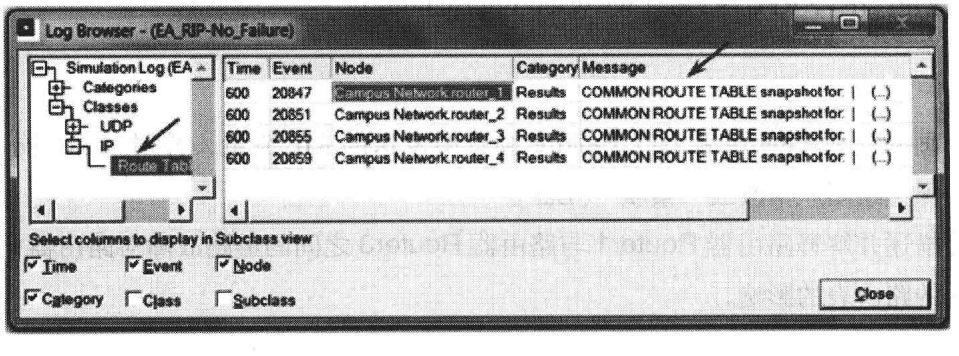
选择 ICMP_Ping 场景→选择“**结果**”（Results）菜单→“**打开仿真日志**”（Open Simulation Log）→如下图所示，单击“**校园网络路由器 router_1 的 ping 报告**”（PING REPORT for “Campus Network router_1”）域。

```
1   PING REPORT for "Campus Network.router_1" (192.0.4.1)
2
3   DETAILS:
4     Received  ICMP echo reply packet for a
5     request packet sent to the following node:
6
7       IP Address: 192.0.4.1
8       Node Name : Campus Network.router_1
9
10  PERFORMANCE:
11    Based on the first ICMP echo request packet
12    (i.e., a "ping" packet) sent to the above
13    node, the following metrics were computed:
14
15      1. Response Time: 0.00025 seconds
16
17      2. List of traversed IP interfaces:
18
19         IP Address        Hop Delay      Node Name
20         ----------        ---------      ---------
21          192.0.11.2       0.00000       Campus Network.router_4
22          192.0.2.2        0.00005       Campus Network.router_3
23          192.0.4.1        0.00005       Campus Network.router_1
24          192.0.2.1        0.00002       Campus Network.router_1
25          192.0.11.1       0.00005       Campus Network.router_3
26          192.0.11.2       0.00005       Campus Network.router_4
27
28    Note that the IP addresses shown above represent
29    the address of the output interface on which the
30    IP datagram was routed from the corresponding
31    nodes to the next node enroute to its destination
32    and back.
```

比较路由表的内容

请按以下步骤检查在 No_Failure 场景和 Failure 场景中路由器 router_1 的路由表内容。

1）按 Ctrl+1 键，到 NO_Failure 场景→ 选择“**结果**”（Results）菜单→“**打开仿真日志**”（Open Simulation Log）→如下图所示，展开左边的层次结构→单击“**路由器 router_1 的普通路由表**”（COMMON ROUTE TABLE for router_1）域。



2）为 Failure 场景执行前面的步骤。下图是两个场景中路由器 router_1 的路由表的部分内容。（注：根据节点位置的不同，结果可能会有所不同）。

路由器 Router_1（NO_Failure 场景）的路由表

Router name: Campus Network.router_1
at time: 600.00 seconds

ROUTE TABLE contents:

Dest. Address	Subnet Mask	Next Hop	Interface Name	Metric	Protocol	Insertion Time
192.0.0.0	255.255.255.0	192.0.0.1	IF0	0	Direct	0.000
192.0.1.0	255.255.255.0	192.0.1.1	IF1	0	Direct	0.000
192.0.2.0	255.255.255.0	192.0.2.1	IF10	0	Direct	0.000
192.0.3.0	255.255.255.0	192.0.3.1	IF11	0	Direct	0.000
192.0.4.0	255.255.255.0	192.0.4.1	Loopback	0	Direct	0.000
192.0.5.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.6.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.7.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.8.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.9.0	255.255.255.0	192.0.2.2	IF10	1	RIP	5.000
192.0.10.0	255.255.255.0	192.0.2.2	IF10	1	RIP	5.000
192.0.11.0	255.255.255.0	192.0.2.2	IF10	1	RIP	5.000
192.0.12.0	255.255.255.0	192.0.2.2	IF10	1	RIP	5.000
192.0.13.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	2	RIP	7.310
192.0.14.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	2	RIP	7.310
192.0.15.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	2	RIP	7.310

路由器 Router_1（Failure 场景）的路由表

Router name: Campus Network.router_1
at time: 600.00 seconds

ROUTE TABLE contents:

Dest. Address	Subnet Mask	Next Hop	Interface Name	Metric	Protocol	Insertion Time
192.0.0.0	255.255.255.0	192.0.0.1	IF0	0	Direct	0.000
192.0.1.0	255.255.255.0	192.0.1.1	IF1	0	Direct	0.000
192.0.2.0	255.255.255.0	192.0.2.1	IF10	0	Direct	0.000
192.0.3.0	255.255.255.0	192.0.3.1	IF11	0	Direct	0.000
192.0.4.0	255.255.255.0	192.0.4.1	Loopback	0	Direct	0.000
192.0.5.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.6.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.7.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.8.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	1	RIP	5.000
192.0.13.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	2	RIP	7.310
192.0.14.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	2	RIP	7.310
192.0.15.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	2	RIP	7.310
192.0.11.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	2	RIP	215.000
192.0.9.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	3	RIP	216.930
192.0.10.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	3	RIP	216.930
192.0.12.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF11	3	RIP	216.930

有益提示　环回接口（Loopback Interface）允许同一个主机上的客户端和服务器端使用 TCP/IP 协议进行相互通信。

进一步阅读

RIP：IETF RFC2453 号（www.ietf.org/rfc.html）。

ICMP：IETF RFC792 号（www.ietf.org/rfc.html）。

练习

1. 画图比较 Failure 和 NO_Failure 场景中发送的 RIP 流量，并对其加以分析。确保把绘图风格改成“**条状**”（Bar）。
2. 描述并解释路由器 Router1 与路由器 Router3 之间的链路故障对路由器 Router1 的路由表的影响。

3. 创建一个与 Failure 场景相同的场景，将其命名为 Q3_Recover。在这个新场景中，路由器 Router1 与路由器 Router2 之间的链路连接将在 400 秒后恢复（确保故障发生在第 200 秒）。作图并分析链路恢复对路由器 Router1 的路由表中的更新总数所产生的影响。检查路由器 Router1 的路由表的内容，把这个表与相应的在 NO_Failure 和 Failure 场景中产生的路由表进行比较。
4. 把 Ping 数据包的大小改成 5000 字节（**提示**：编辑 Ping 参数（Ping Parameters）节点的属性）。运行仿真，生成新的 Ping 报告，新数据包的大小对 ICMP 数据包响应时间有何影响？

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

开放式最短路径优先

一种基于链路状态算法的路由协议

实验目的

本实验的目的是配置开放式最短路径优先（Open Shortest Path First，OSPF）路由协议，并分析其性能。

实验概览

在路由信息协议的实验中，我们对一种基于距离矢量算法的典型路由协议进行了讨论，它需要每个节点建立到其他所有节点的距离（代价）矢量，并把该矢量定时分发给所有邻居节点。链路状态路由是域内路由协议的第二大类，其基本思想非常简单：每个节点都知道如何到达直接的邻居节点，如果我们能够确保把这些信息散布给网络中的每个节点，那么每个节点就都知道了整个网络的信息，从而能建立网络的完整拓扑图。

一旦某个给定的节点有一张完整的网络拓扑图，那么它就能够计算出去往每个目的地的最佳路径。路由的计算是基于著名的图论算法——Dijkstra 最短路径算法。

OSPF 把域（domain）划分成区域（area），以层次结构进行路由选择。这就意味着一个域中的路由器并不需要知道怎样到达该域中的每一个网络，它只需要知道怎样到达正确的区域就足够了。这样就减少了每个节点需要传递和存储的（路由）信息量。除此之外，OSPF 允许为到达相同目的地分配多条代价相同的路由，这样就使得流量平均地分配在那些路由器上。

在本实验中，你将建立一个使用 OSPF 作为路由协议的网络，分析路由器中生成的路由表，观察设定的区域和负载平衡是如何影响路由结果的。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 3.3.3 节。

💻 浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 路由（Routing）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials> _ OSPF，将场景命名为 No_Areas → 单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard: Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**校园**”（Campus）→ 单击“**下一步**”（Next）三次 → 单击“**确定**”（OK）。

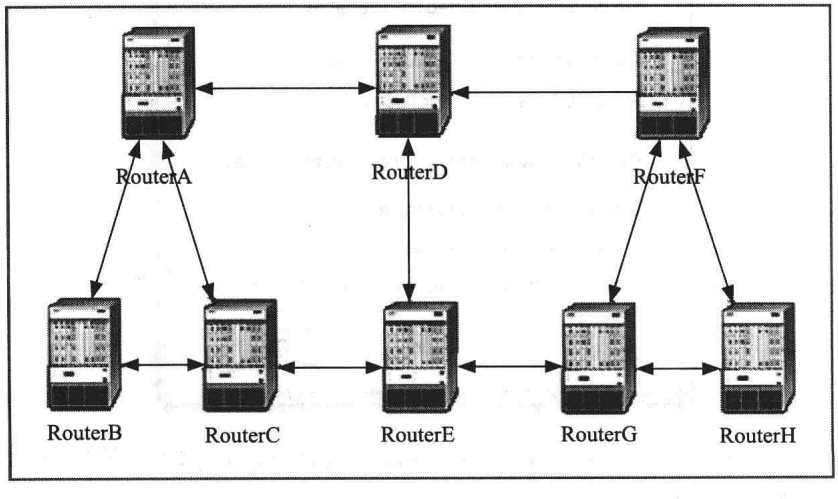
创建和配置网络

请按如下步骤初始化网络：

1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部。如果不是，请单击按钮打开它。在“**对象面板**”的下拉菜单中选择“**路由器**”（routers）。

在工程工作区中添加 8 个 slip8_gtwy 类型的路由器。在“**对象面板**”上单击对象的图标以添加对象→移动鼠标到工作区，单击以放置对象→放置完最后一个对象时，右击。

2）在“**对象面板**”上部的下拉菜单中选择“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。使用 PPP_DS3 链路连接路由器。如下图所示，重新命名这些路由器，关闭**对象面板**。

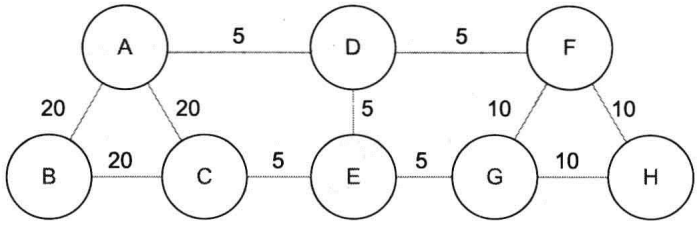


有益提示　slip8_gtwy 节点模型表示一个基于 IP 的网关，该网关支持多达 8 个串行链路接口，并能选择数据传输率。可自动使用 RIP 或者 OSPF 协议动态地创建网关路由表，并以适应性的方式选择路由。

PPP_DS3 链路数据传输率为 44.736Mbps。

配置链路代价

需要设置与下图一致的链路代价：



与很多流行的商业路由器一样，OPNET 路由器模型支持**参考带宽**（reference bandwidth）这一参数，用它来计算实际代价，计算公式如下：

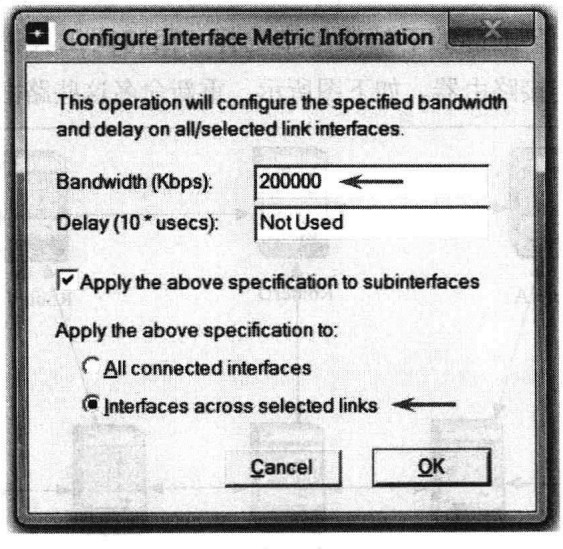
代价=参考带宽/链路带宽

参考带宽的默认值是 1 000 000Kbps。

例如，为了将链路代价设置为 5，就需要将该链路带宽设置为 200 000Kbps。从传输速度的角度来说，这并不是链路的实际带宽，而仅仅是用来配置链路代价的一个参数。按如下步骤，设置网络的链路代价：

1）按住 Shift 键，选择网络中与前面图中代价为 5 的链路相对应的所有链路。

2）选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**路由**”（Routing）→“**配置接口的度量信息**”（ Configure Interface Metric Information）。



3）把“**带宽**（Kbps）”（Bandwidth(Kbps)）域的值设置为 200 000 → 如上图所示，选中“**被选链路连接的接口**”（Interfaces across selected links）单选按钮→单击“**确定**”（OK）。

4）对代价为 10 的所有链路重复以上步骤，但是把“**带宽**（Kbps）”（Bandwidth (Kbps)）域的值设置为 100 000。

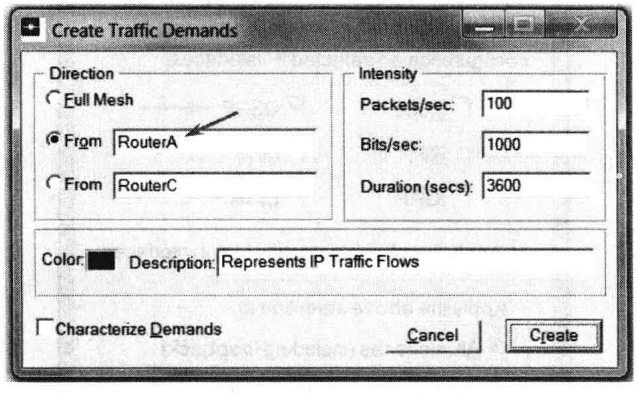
5）对所有代价为 20 的链路重复以上步骤，但是把“**带宽**（Kbps）”（Bandwidth (Kbps)）域的值设置为 50 000。

6）“**保存**”（Save）工程。

配置流量需求

1）按下 Shift 键，同时选择路由器 RouterA 和路由器 RouterC。

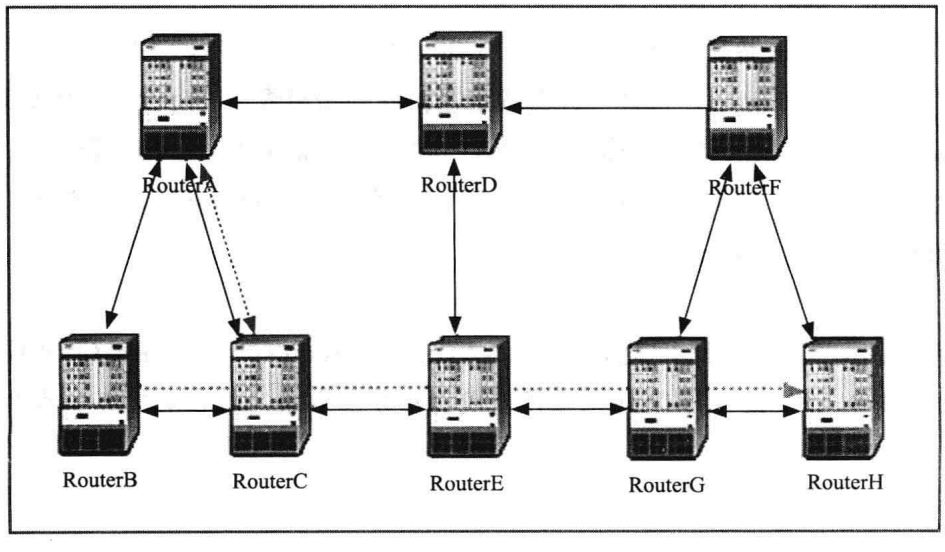
选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**需求**”（Demands）→“**创建流量需求**”（Create Traffic Demands）→如下图所示，选中“**从路由器 RouterA**”（From RouterA）单选按钮→保持颜色为“**蓝色**”（blue）→单击“**创建**”（Create）。现在，你可以看到一条蓝色虚线，它表示路由器 RouteA 和路由器 RouteC 之间的流量需求。



2）按下 Shift 键，同时选择路由器 RouterB 和路由器 RouterH。

选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**需求**”（Demands）→“**创建流量需求**”（Create Traffic Demands）→选中“**从路由器 RouterB**”（From RouterB）单选按钮 → 改变颜色为“**红色**”（red）→单击“**创建**”（Create）。

现在，如下图所示，你可以看到表示流量需求的红线。

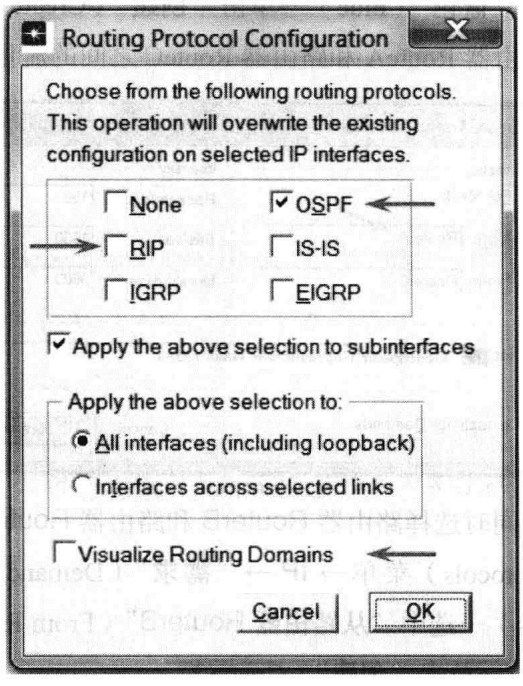


3）按如下步骤隐藏这些线：选择“**视图**”（View）菜单→选择“**需求对象**”（Demand Objects）→选择“**隐藏所有**”（Hide All）。

配置路由协议和地址

1）选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**路由**”（Routing）→“**配置路由协议**”（Configure Routing Protocols）。

2）选中 OSPF 复选框→取消选中的 RIP 的复选框→如下图所示，取消选中的“**可视化路由域**”（Visualize Routing Domains）复选框：



3）单击“**确定**”（OK）。

4）仅选择路由器 RouterA 和路由器 RouterB →选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**路由**”（Routing）→选择“**导出选定路由器的路由表**”（Export Routing Table for Selected Routers）→在“**状态确认**”（Status Confirm）对话框中，单击“**确定**”（OK）。

5）选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**编址**”（Addressing）→选择“**自动分配 IP 地址**”（Auto-Assign IP Addresses）。

6）“**保存**”（Save）工程。

有益提示　自动分配 IP 地址（Auto-Assign IP Addresses）为连接的 IP 接口分配唯一的 IP 地址，该接口的 IP 地址应设置成自动分配方式，这并不改变手动设置的 IP 地址。

配置仿真

现在，我们将配置一些仿真参数：

1）单击按钮，将会出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 **10.0 分钟**。

3）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

复制场景

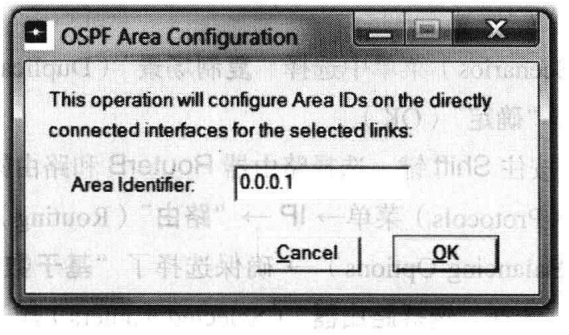
在刚刚创建的网络中，所有的路由器都属于一个层次结构（即一个区域），并且也没有为任何路由器配置负载平衡。现在我们要创建两个新场景：在第一个新场景中，除了主干区域外还要定义两个新的区域；在第二个新场景中，为路由器 RouterB 和路由器 RouterH 之间的流量需求配置负载平衡。

区域场景

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 Areas →单击“**确定**”（OK）。

2）创建区域 0.0.0.1：

a. 按住 Shift 键，单击连接路由器 RouterA、路由器 RouterB、路由器 RouterC 的三条链路→选择“**协议**”（Protocols）菜单→ OSPF →“**配置区域**”（Configure Areas）→如下图所示，把“**区域标识符**”（Area Identifier）的值设置为 0.0.0.1 →单击“**确定**”（OK）。



b. 在路由器 RouterC 上右击 →“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**OSPF 参数**”（OSPF Parameter）的层次结构→展开“**回环接口**”（Loopback Interfaces）的层次结构→展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→把“**区域标识符**”（Area ID）的属性值设置为 0.0.0.1 →单击“**确定**”（OK）。

有益提示　**环回接口**（Loopback Interface）允许同一个主机上的客户端和服务器使用 TCP/IP 协议进行相互通信。

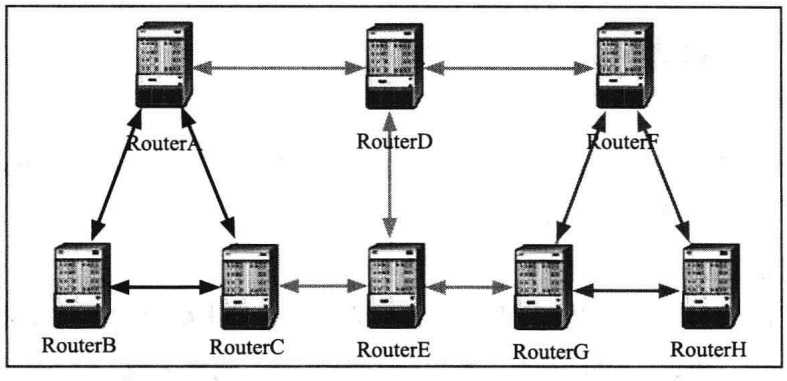
3）创建区域 0.0.0.2：

在工程工作区的某处单击，使得已选择的链路消除被选择状态，然后对连接路由器 RouterF、路由器 RouterG、路由器 RouterH 的三条链路重复步骤 2a，但把“**区域标识符**”（Area Identifier）的值设置为 0.0.0.2。

4）为了可视化刚刚创建的区域，选择“**协议**”（Protocols）菜单→ OSPF →“**区域可视化**”（Visualize Areas）→单击“**确定**”（OK）。这个网络应该如下图所示，为每个区域设置不同的颜色（当然可以设置成其他颜色）。

注：• 你没有配置的区域是主干区域，其区域标识为 0.0.0.0。

• 下图显示的链路宽度为 3。



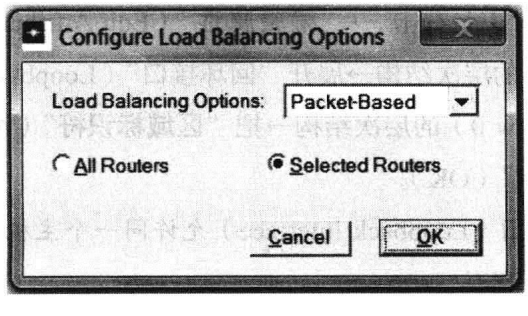
负载平衡场景

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单下，“**切换场景**”（Switch to Scenario）→选择 No_Areas 场景。

2）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenarios），将其命名为 Balanced →单击“**确定**”（OK）。

3）在新场景中，按住 Shift 键，选择路由器 RouterB 和路由器 RouterH。

4）选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**路由**”（Routing）→“**配置负载平衡选项**”（Configure Load Balancing Options）→ 确保选择了“**基于数据包**”（Packet-Based）的方式，如下图所示，选择“**选择路由器**”（Selected Routers）单选按钮。



5）“**保存**”（Save）工程。

有益提示　OPNET 为我们提供了两种类型的 IP 负载平衡：

基于目标（Destination Based）的负载平衡：从源路由器到目的网络的所有数据包均选择了相同的路由。

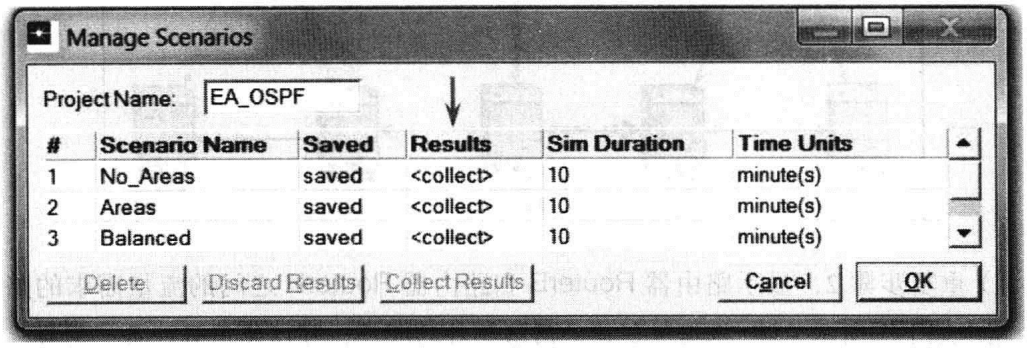
基于数据包（Packet Based）的负载平衡：从源到目的网络的每个单一数据包都要重新选择路由。

运行仿真

按以下步骤同时运行三个场景的仿真：

1）单击“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）单击每一行场景，单击“**收集结果**”（Collect Results）按钮。如下图所示，这将改变“**结果**”（Results）列中的值为 <collect>。



3）单击“**确定**”（OK），运行 3 个场景。根据计算机的处理器速度，这个过程将会花费几分钟。

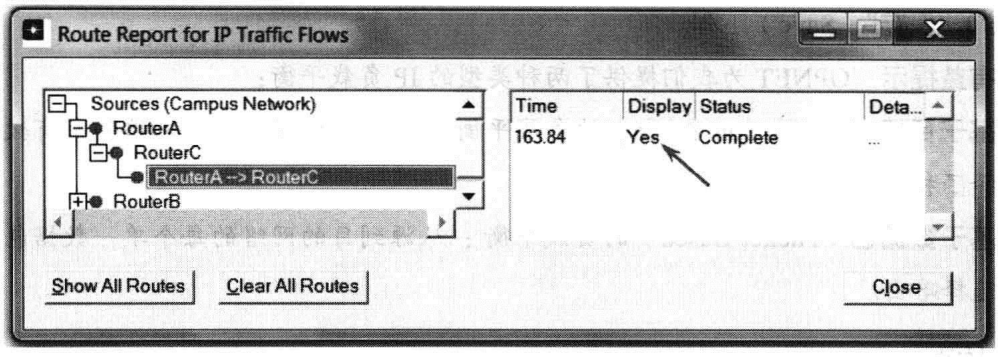
4）3 个仿真运行完毕后，单击“**关闭**”（Close），“**保存**”（Save）工程。

观察结果

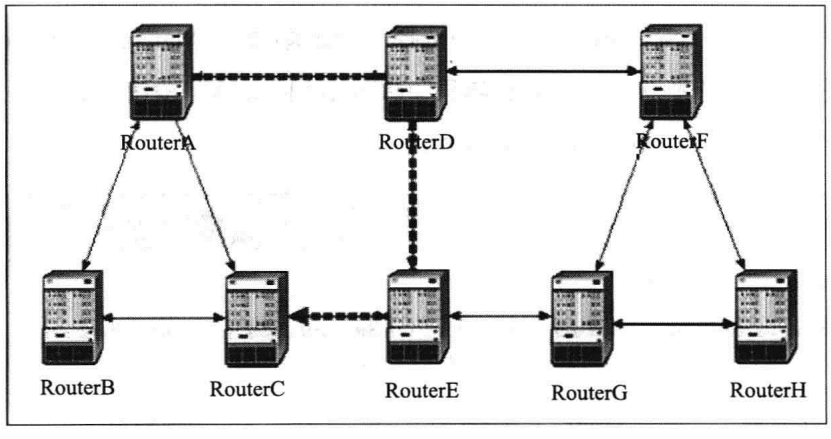
NO_Areas 场景

1）返回到 NO_Areas 场景。

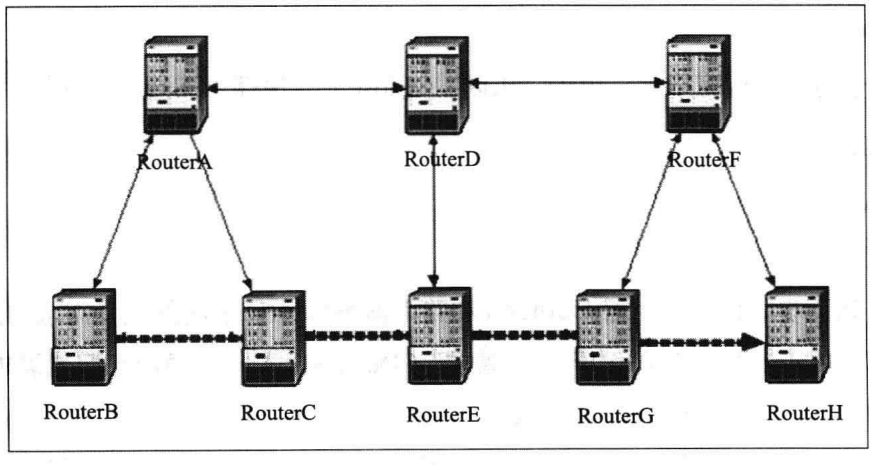
2）按如下步骤显示路由器 RouterA 和路由器 RouterC 之间的流量需求的路由：选择“**协议**”（Protocols）菜单→ IP →“**需求**”（Demands ）→“**显示已配置需求的路由**”（Display Routes for Configured Demands）→如下图所示，展开层次结构，选择路由器 RouterA →选择路由器 RouterC →在“**显示**”（Display）列中，选择“**是**”（Yes）→单击“**关闭**”（Close）。



3）如下图所示，路由选择结果将会出现在网络中。



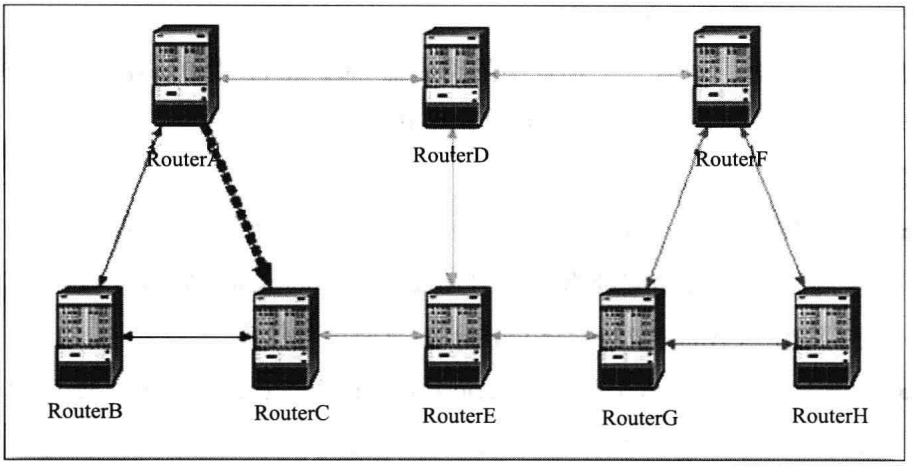
4）重复步骤 2，显示路由器 RouterB 和路由器 RouterH 之间的流量需求的路由。这个路由如下图所示（**注**：根据所创建的网络拓扑的顺序，可以使用另一条“同样代价”的路径，即 RouterB-RouterA-RouterD-RouterF-RouterH 路径）。



Areas 场景

1）选择 Areas 场景。

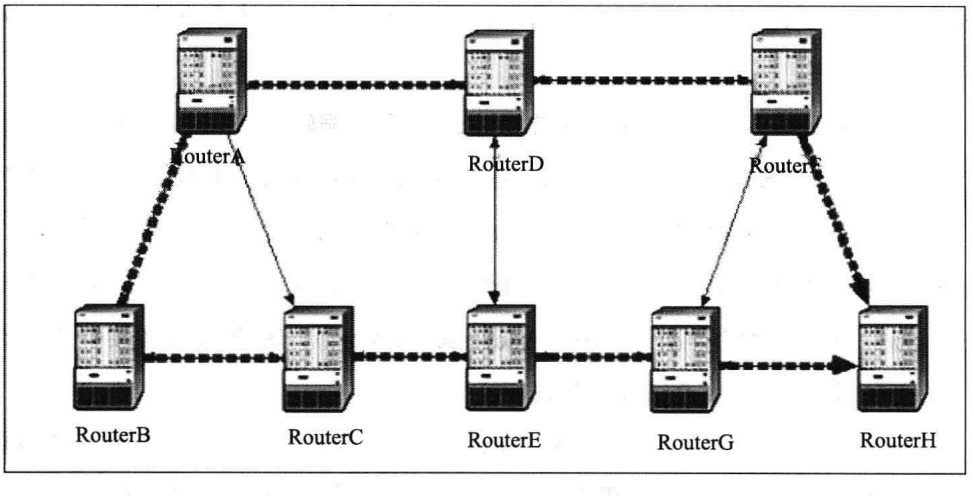
2）显示路由器 RouterA 和路由器 RouterC 之间流量需求的路由。这个路由如下图所示。



Balanced 场景

1）选择 Balanced 场景。

2）显示路由器 RouterB 和路由器 RouterH 之间流量需求的路由。这个路由如下图所示。



3）“**保存**”（Save）工程。

进一步阅读

OPNET OSPF 模型描述：从“**协议**”（Protocols）菜单中，选择 OSPF →“**模型使用向导**”（Model Usage Guide）。

OSPF：IETF RFC 2328（www.ietf.org/rfc.html）。

练习

1. 解释为什么对于同一对路由器，Areas 场景和 Balanced 场景中所观察的路由与 No_Areas 场景所观察的不同。
2. 使用仿真日志，查看三个场景中的路由器 RouterA 产生的路由表。对每一个路由的“**度量**”（Metric）列中的值做出解释。

   提示：

   - 参考实验六中的“观察结果”部分，获知如何检查路由表的信息。需要把“**全局属性 IP 接口编址模式**”（IP Interface Addressing Mode）设置为“**自动编址 / 导出**”（Auto Addressed/Export），重新运行仿真。
   - 需要打开通用数据文件（Generic Data File），查看所有接口的 IP 地址信息。该类数据文件中包含与场景相关联的 IP 地址。
3. OPNET 允许你查看链路状态数据库，每一个路由器使用该数据库建立网络的有向图。在 No_Areas 场景中，查看路由器 RouterA 的数据库。演示路由器 RouterA 如何使用这个数据库来创建网络拓扑图，画出这个拓扑图。（路由器将使用该拓扑图创建路由表。）

有益提示 桩网络（Stub Network）仅承载本地流量（包括来往于本地主机之间的数据包），即使有通路能到达多个其他网络，也不会为其他网络承载流量（RFC1983）。

提示：

- 为了导出路由器的链路状态数据库，需要“**编辑**”（Edit）路由器的属性，把“**链路状态数据库导出**”（Link State Database Export）参数（一个 OSPF 参数）设置为“**当仿真结束时**”（Once at End of Simulation）。
- 需要把“**IP 接口编址模式**”（IP Interface Addressing Mode）全局属性的值设置为“**自动配置 / 导出**”（Auto Addressed/Export）。这将把网络接口设置为自动分配 IP 地址（参考练习 2 的提示）。
- 仿真重新运行后，（从“**结果**”（Results）菜单中）打开仿真日志，查看链路状态数据库。可以通过“**级别**”（Classes）→ OSPF → LSDB_Export，查看链路状态数据库。

4. 模仿 No_Areas 场景，创建 Q4_No_Area_Failure 新场景。在新场景中，仿真路由器 RouterD 和路由器 RouterE 间的链路故障。在网络运行 100 秒以后，启动该链路故障，重新运行仿真。显示链路故障如何影响链路状态数据库的内容和路由器 RouterA 的路由表。（需要把全局属性 OSPF Sim Efficiency 设置为**无效**

（disabled），这将使 OSPF 协议在网络中出现变化时更新路由表。）

5. 选择 Q4_No_Area_Failure 和 No_Areas 场景中的“**发送流量（位/秒）**”（Traffic Sent(bits/sec)）统计量（OSPF 下“**全局统计量**”（Global Statistics）之一）。重新运行这两个场景的仿真，生成比较两个场景中 OSPF“**发送流量（位/秒）**”（Traffic Sent(bits/sec)）的结果图，对该图加以评价。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

边界网关协议

一种域间路由协议

实验目的

本实验的目的是仿真和研究一种域间路由协议——边界网关协议 (Border Gateway Protocol，BGP) 的基本功能。

实验概览

因特网由一组路由选择域组成，每一个路由选择域叫做一个自治系统（Autonomous System，AS），每一个 AS 由一个管理实体所控制（例如，单个服务供应商的一个 AS）。每一个 AS 有唯一的 16 位标识号，这个号是由授权中心分配的。AS 自主地决定本自治系统采用的域内路由协议（如 RIP 或者 OSPF），并通过域间路由协议与其他 AS 建立路由。边界网关协议是一个著名的域间路由协议。

BGP 的主要目标是寻找任一无环路的通往目的地的路径，这与域内路由协议的目标是不一样的。域内路由协议的目标是基于一定的链路度量寻找到达目的地的最佳路径。连接不同 AS 的路由器叫做**边界网关**，边界网关的任务就是在 AS 间转发报文。每一个 AS 至少有一个 BGP 发言人，它在 AS 之间交换可达信息。

BGP 把到达目的 AS 的完整路径作为一个枚举列表予以通告，这样可以避免路由循环。BGP 发言人还可采用一些策略，比如平衡相邻 AS 的负载。如果一个 BGP 发言人可以选择到达一个目的地的多条不同路由时，它将会根据自己的本地策略通告最佳路由。BGP 运行在 TCP 之上，因此 BGP 发言人无需关心信息的重传或确认。

在本实验中，你将建立带有 3 个不同 AS 的网络，RIP 将作为域内路由协议，而 BGP 作为域间路由协议。你将分析路由器产生的路由表，并分析使用简单策略所起的作用。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 4.1.2 节。

💻 浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- IP 子网（IP Subnets）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials> _ BGP，将场景命名为 No_BGP → 单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard: Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**企业**”（Enterprises）→ 单击“**下一步**”（Next）四次 → 单击“**确定**”（OK）。

创建和配置网络

1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部。如果不是，请单击按钮打开它。在**对象面板**的下拉菜单中选择“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

2）从“**对象面板**”上为工程工作区添加如下对象：6 个 ethernet4_slip8_gtwy 路由器、2 个 100BaseT_LAN 局域网。

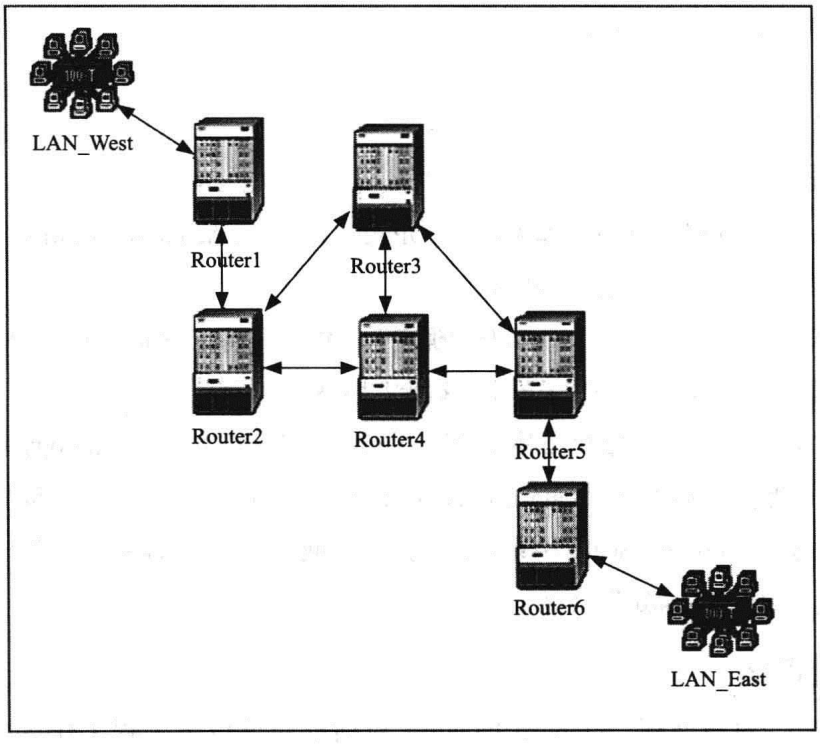
在“**对象面板**”上单击对象的图标以添加对象→移动鼠标至工作区，单击放置对象→右击，停止创建该类型的对象。

3）如下图所示，使用双向 PPP_DS3 链路连接刚才添加的路由器，重新命名这些对象（在节点上右击→“**命名**”（Set Name））。

4）如下图所示，使用双向 100BaseT 链路把局域网 LAN_West 连接到路由器 Router1 上，添加另外一条 100BaseT 链路把局域网 LAN_East 连接到路由器 Router6 上。

5）关闭“**对象面板**”对话框→“**保存**”（Save）工程。

有益提示　ethernet4_slip8_gtwy 节点模型表示一个基于 IP 的网关，它支持 4 个以太网集线器接口和 8 个串行链路接口。到达任何一个接口的 IP 数据包将会根据它们的目的 IP 地址由路由器转发到一个合适的输出接口。

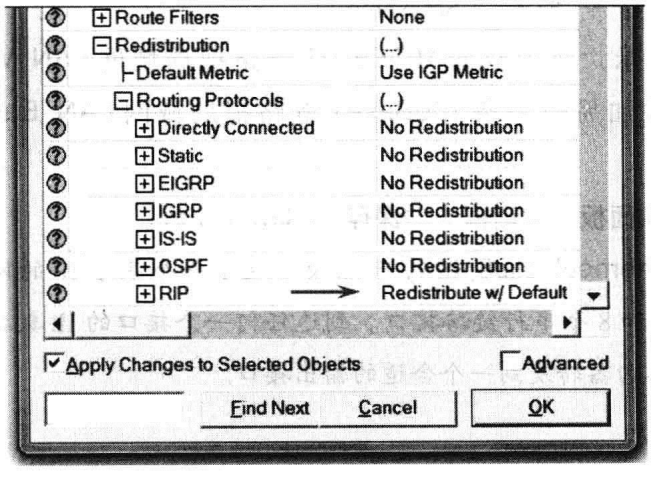


路由器配置

1）在任一路由器上右击→单击“**选择类似节点**”（Select Similar Nodes）（确保选择了所有路由器）→在任一路由器上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

2）展开“**BGP 参数**”（BGP Parameters）的层次结构，并进行如下设置：

如下图所示，“**重新分配**”（Redistribution）→“**路由协议**”（Routing Protocols）→ RIP →“**带有默认值的重新分配**”（Redistribute w/Default）。



3）展开“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameters）的层次结构→并进行如下设置：

Routing Table Export = Once at End of Simulation，这么做使得在仿真结束时，路由器把路由表输出到仿真日志中。

4）展开“**RIP 参数**”（RIP Parameters）的层次结构→并进行如下设置：

“**重新分配**”（Redistribution）→“**路由协议**”（Routing Protocols）→“**直接连接**”（Directly Connected）→“**带有默认值的重新分配**”（Redistribute w/Default）。

5）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示　Redistribute w/Default 允许路由器带有一个通往属于另一个自治系统的目的地的默认路由。

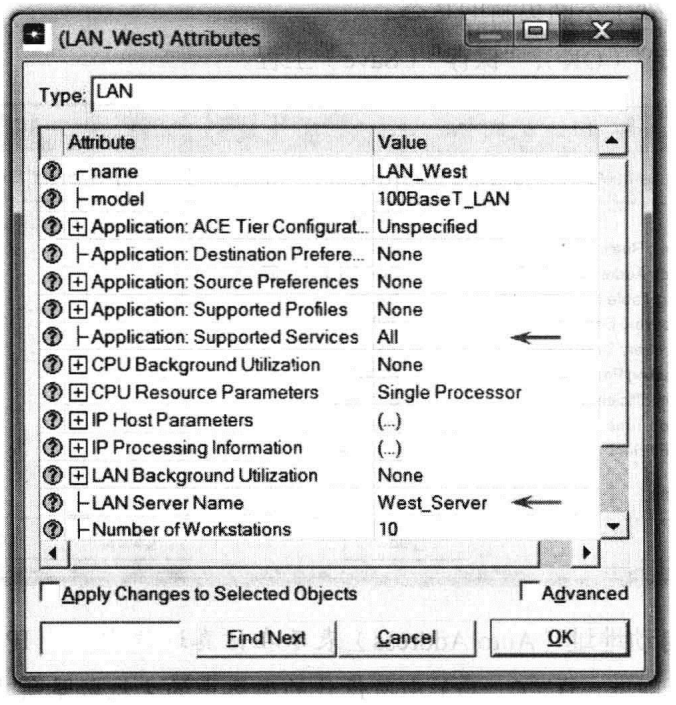
应用配置

1）在局域网 LAN_West 上右击 →“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）设置为“**全部**”（All）→如下图所示，把“**局域网服务器名**”（LAN Server Name）设置为 West_Server →单击“**确定**”（OK）。

注：应用（Applications）和业务规格（Profiles）两个对象将会自动添加到工程中去。

2）在局域网 LAN_East 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）：

a. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profiles）的层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→把“**业务规格名**”（Profile Name）设置为 E-commerce Customer。



b. 编辑“**应用：目的地偏好**”（Application:Destination Preference）属性如下：把“**行**

数”（rows）设置为 1 →“**符号名**”（Symbolic Name）设置为 HTTP Server →编辑“**实际名**”（Actual Name）→把“**行数**”（rows）设置为 1 →在新行中，把“**名字**”（Name）列设置为 West_Server。

3）单击“**确定**”（OK）3 次，“**保存**”（Save）工程。

有益提示　应用：目的地偏好（Application:Destination Preference）给出（在应用定义或任务定义对象中指定的）符号目的地名称和（在服务器名称或每个节点的客户端名称中指定的）实际名称之间的对应关系。

配置仿真

现在，我们要配置一些仿真参数：

1）单击按钮，出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 10.0 **分钟**。

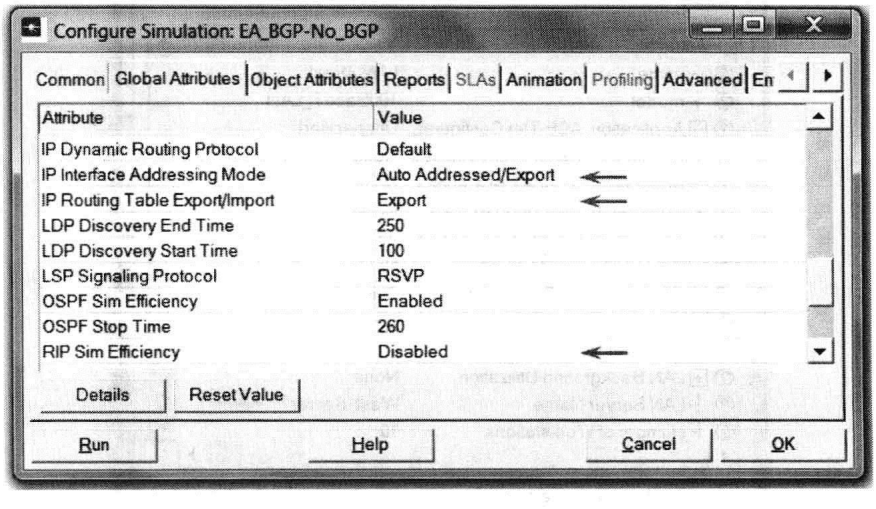
3）单击“**全局属性**”（Global Attributes）标签，确保下列属性按如下进行设置：

a. IP Interface Addressing Mode=Auto Addressd/Export（IP 接口编址模式为自动编址 / 导出）。

b. IP Routing Table Export/Import= Export（IP 路由表导出 / 导入设置为导出）。

c. RIP Sim Efficiency=Disabled（RIP 仿真效率设置为无效的）。如果这个属性为有效的，RIP 将会在“RIP 停止时间”内停止。但是，我们需要 RIP 在网络发生任何变化时，仍能让路由表处于不断更新的状态。

4）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。



有益提示　自动地址（Auto Address）表示在仿真过程中，为 IP 接口自动分配 IP 地址。地址的类（即 A、B、C、D）由所设计的网络中的主机数量所决定，分配给这些接口的子网掩码是该类默认的子网掩码。

Export 让 IP 接口自动分配的地址输出到一个文件中（文件名称是 <net_name>-ip_addresses.gdf，它被保存在一个主模型目录中）。

选择统计量

1）在局域网 LAN_East 上右击，选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→从“**HTTP 客户端**”（Client HTTP）的层次结构中选择“**接收流量（字节 / 秒）**”（Traffic Received(bytes/sec)）统计量 →单击“**确定**”（OK）。

2）在连接路由器 Router2 和路由器 Router3 的链路上右击，从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→从“**点到点**”（point-to-point）的层次结构中选择“**吞吐量（位 / 秒）**”（Throughput(bit/sec) -->）统计量→单击“**确定**”（OK）。

注：如果链路的名称为“Router3<-> Router2”，那么你需选择“Throughput(bit/sec) <--”统计量。

3）在连接路由器 Router2 和路由器 Router4 的链路上右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→从“**点到点**”（point-to-point）的层次结构中选择“**吞吐量（位 / 秒）**”（Throughput(bit/sec) -->）统计量→ 单击“**确定**”（OK）。

注：如果链路的名称为“Router4<->Router2”，那么你需选择“Throughput(bits/sec)<--”统计量。

路由接口和 IP 地址

在设置路由器使用 BGP 之前，需要获取路由器接口以及与接口相关联的 IP 地址的信息。回忆一下，这些 IP 地址是在仿真过程中自动分配的，而且我们设置了全局属性“**IP 接口编址方式**”（IP Interface Addressing Mode），并把信息导出到文件中。

1）首先，我们需要运行仿真。单击按钮，出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口→单击“**运行**”（Run）。

2）仿真结束后，单击“**关闭**”（Close）。

3）在“**文件**”（File）菜单中选择“**模型文件**”（Model File）→“**刷新模型目录**”（Refresh Model Directories）。这将使 OPNET IT Guru 搜索模型目录，更新它的文件列表。

4）在“**文件**”（File）菜单中，选择“**打开**”（Open）→在下拉菜单中选择“**通用数据文件**”（Generic Data File）→选择 <your initials>_BGP-No_BGP-ip_address 文件→单击“**确定**”（OK）。

此时，将打开一个文件，该文件包含所有路由器接口以及它们的 IP 地址的信息。表 8-1 显示了工程中六个路由器的接口号和 IP 地址。例如，路由器 Router1 是通过接口（Interface，IF）11 与路由器 Router2 相连接的，此接口的 IP 地址为 192.0.1.1。如表 8-1 所示，路由器通过一个回环接口与自己相连接。为你的工程创建一个类似的表，但是注意你的结果可能因节点放置位置不同而有所变化。

表 8-1　连接路由器和它们 IP 地址的接口

路由器	1	2	3	4	5	6
1	IF: 12 IP: 192.0.2.1	IF: 10 IP: 192.0.1.1				
2	IF: 10 IP: 192.0.1.2	IF: 12 IP: 192.0.5.1	IF: 11 IP: 192.0.4.1	IF: 4 IP: 192.0.3.1		
3		IF: 10 IP: 192.0.4.2	IF: 12 IP: 192.0.8.1	IF: 4 IP: 192.0.6.1	IF: 11 IP: 192.0.7.1	
4		IF: 10 IP: 192.0.3.2	IF: 4 IP: 192.0.6.2	IF: 12 IP: 192.0.10.1	IF: 11 IP: 192.0.9.1	
5			IF: 11 IP: 192.0.7.2	IF: 10 IP: 192.0.9.2	IF: 12 IP: 192.0.12.1	IF: 4 IP: 192.0.11.1
6					IF: 10 IP: 192.0.11.2	IF: 12 IP: 192.0.14.1

创建 BGP 场景

在刚刚创建的网络中，所有的路由器属于同一个自治系统。我们将把网络划分成 3 个自治系统，利用 BGP 在这些系统间路由数据包。

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 BGP_Simple →单击“**确定**”（OK）。

2）同时选择路由器 Router1 和路由器 Router2（按住 Shift 键，单击它们）→在路由器 Router1 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

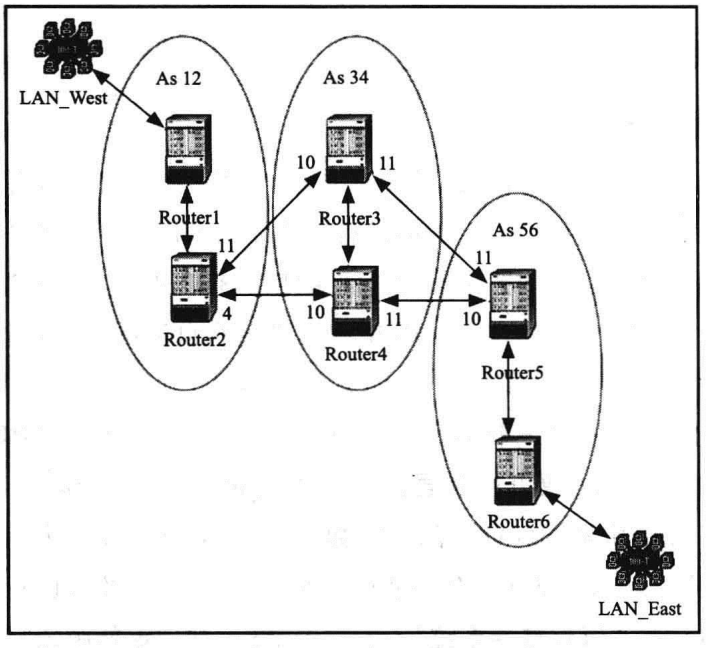
3）展开“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameters）的层次结构，把“**自治系统号**”（Autonomous System Number）设置为 12 →单击“**确定**”（OK）。

4）对路由器 Router3 和路由器 Router4 重复步骤 2 和步骤 3。把它们的“**自治系统号**”（Autonomous System Number）设置为 34。

5）对路由器 Router5 和路由器 Router6 重复步骤 2 和步骤 3。把它们的“**自治系统号**”（Autonomous System Number）设置为 56。

下图显示了创建的自治系统，以及连接不同自治系统的路由器的接口。接口来自

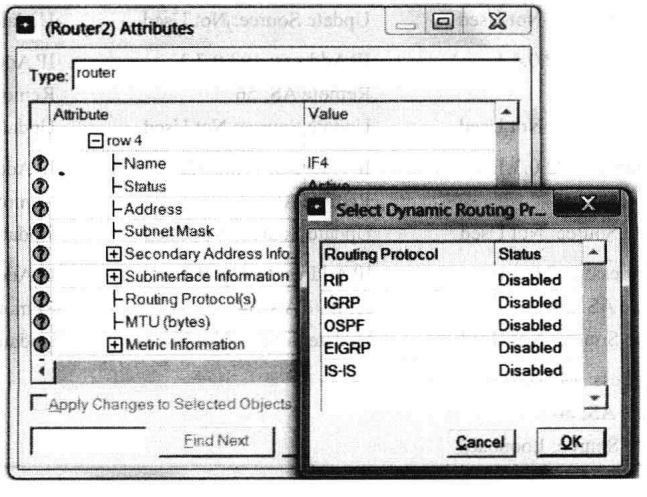
表 8-1 中（**注**：工程中的接口号可能会有所不同）。



6）下一步让上图中所显示的接口（即 Router2：IF4 和 IF11，Router3：IF10 和 IF11，Router4：IF10 和 IF11，Router5：IF10 和 IF11）的 RIP 协议“无效”。

注：确保在仿真中的接口上进行了下一步的操作，因为它们可能会与前面的接口有所不同。

7）在路由器 Router2 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameters）的层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）的层次结构→展开“**第 4 行**”（row 4）的层次结构→单击“**路由协议**”（Routing Protocol(s)）属性值→如下图所示，使 RIP“**无效**”（Disable）→单击“**确定**”（OK）两次。



8）对所有连接自治系统的其他路由器接口重复步骤 7（即在步骤 6 中列出的剩余的七个域间接口）。

9）“**保存**”（Save）工程。

配置 BGP 邻居信息

如果这时试图运行 BGP_Simple 场景的仿真，你将会遇到上百个错误。这是因为域间路由器之间没有运行路由协议，因而没有创建路由表以支持自治系统间的数据包传递。解决方法是通过定义域间路由器的邻居来使用 BGP 协议。表 8-2 显示了将会运行 BGP 协议的路由器的邻居，这些邻居用 IP 接口地址和自治系统号来定义。对表 8-2 中的每一个路由器，执行以下步骤：

在路由器上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**BGP 参数**”（BGP Parameters）的层次结构→展开“**邻居信息**”（Neighbor Information）的层次结构→把路由器 Router1 和路由器 Router6 的“**行数**”（rows）属性设置为 1。对于其他路由器，设置“**行数**”（rows）属性为 3 →使用表 8-2，为每一个添加的行设置相应的“**IP 地址**”（IP Address）、“**远程自治系统**”（Remote AS）和“**更新源端**”（Update Source）属性的值。

注：为 IP 地址属性设置的值应与表 8-1 中所收集的值相匹配。

表 8-2　域间路由器的邻居信息

	BGP 参数 ⇒ 邻居信息		
路由器	**行 0**	**行 1**	**行 2**
路由器 1	IP Address: 192.0.5.1 Remote AS: 12 Update Source: Loopback		
路由器 2	IP Address: 192.0.4.2 Remote AS: 34 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.3.2 Remote AS: 34 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.2.1 Remote AS: 12 Update Source: Loopback
路由器 3	IP Address: 192.0.4.1 Remote AS: 12 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.7.2 Remote AS: 56 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.10.1 Remote AS: 34 Update Source: Loopback
路由器 4	IP Address: 192.0.3.1 Remote AS: 12 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.9.2 Remote AS: 56 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.8.1 Remote AS: 34 Update Source: Loopback
路由器 5	IP Address: 192.0.7.1 Remote AS: 34 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.9.1 Remote AS: 34 Update Source: Not Used	IP Address: 192.0.14.1 Remote AS: 56 Update Source: Loopback
路由器 6	IP Address: 192.0.12.1 Remote AS: 56 Update Source: Loopback		

有益提示　IBPG 代表内部 BGP。在这个协议中，BGP 运行在属于同一个自治系统的两个路由器上。当 BGP 发言人接收到一个来自 IBPG 邻居的更新信息时，该发言人不会对其他 IBPG 对等端重新分发路由通告。为了确保路由信息一致地分发到整个网络上，每一个 BPG 发言人应与同一个自治系统中的其他 BPG 发言人保持一个 IBPG 连接。

EBGP 代表外部 BGP。

IP Address 这里所指的是邻居的 IP 地址。节点应该知道到达这个邻居 IP 地址的有效路由。对于 IBPG 连接而言，建议使用邻居的回环接口地址。对于 EBPG 连接而言，应该使用在一跳之内的物理接口地址。

Remote AS 指定了邻居的自治系统号。

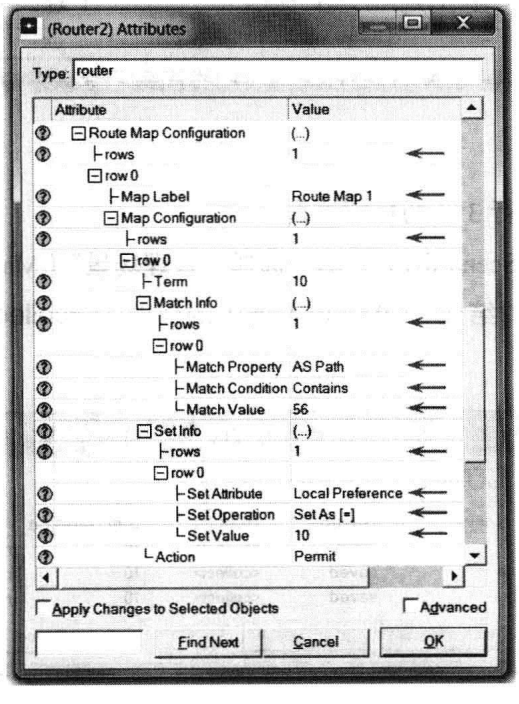
创建有策略场景的 BGP

BGP 允许使用基于策略的选路，我们将利用这个功能来配置路由器 Router2，重定向负载到其自治系统中的两个出口链路上。

1）确保工程在 BGP_Simple 场景中。在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 BGP_Policy →单击“**确定**”（OK）。

2）在路由器 Router2 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameter）的层次结构→展开“**路由映射配置**”（Route Map Configuration）的层次结构→如下图所示，设置属性。

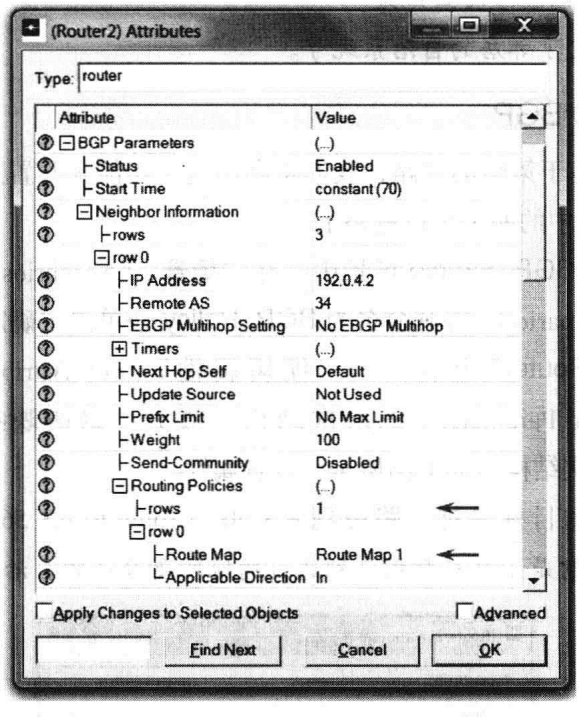
创建路由映射的目标是把“**路由到 AS 56**”（route to AS 56）的优先级降到 10。（**注**：通常值是 99，它是 100 与数据包到达目的地所要经过的自治系统数目之差。）



下一步就是把前面的路由映射分配给连接路由器 Router2 和路由器 Router3 的链路。用这种方法，从路由器 Router2 到 AS 56 的流量将优先通过路由器 Router4。

3）在路由器 Router2 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**BGP 参数**”（BGP Parameters）的层次结构→展开“**邻居信息**”（Neighbor Information）的层次结构→展开有路由器 Router3 接口 IP 地址的行（在本工程中是“**第 0 行**”（row 0）→ 展开“**路由策略**”（Routing Policies）的层次结构→如下图所示，设置属性。

4）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

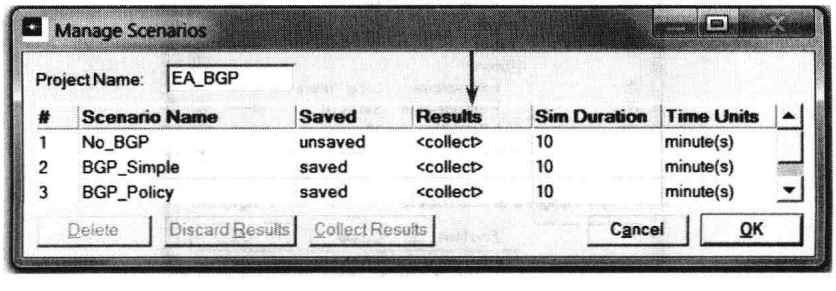


运行仿真

按以下步骤同时运行 3 个场景的仿真：

1）单击“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）把 3 个场景中“**结果**”（Results）列中的值改为 <collect>（或者 <recollect>）。与下图进行比较。



3）单击“**确定**”（OK），运行 3 个仿真。

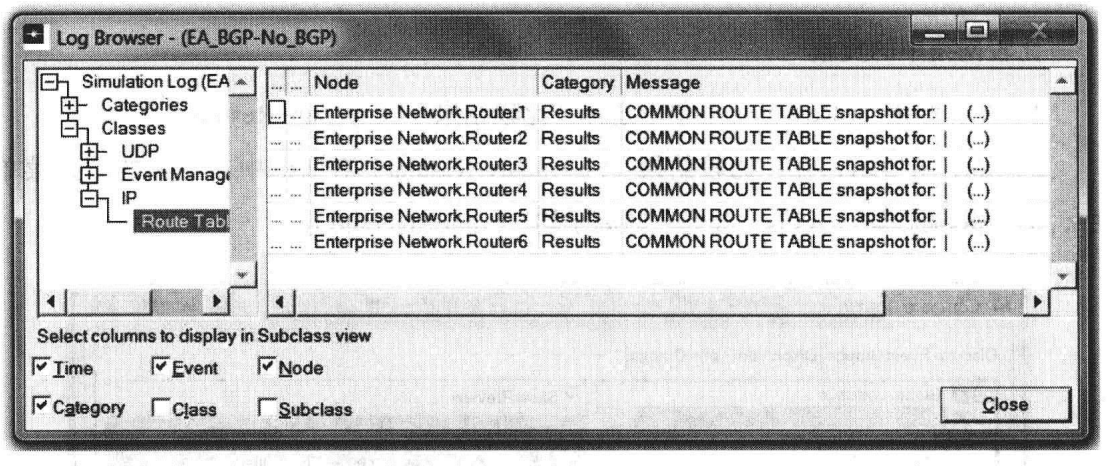
4）3 个仿真运行完毕后，“**关闭**”（Close）每一个仿真→“**保存**”（Save）工程。

观察结果

比较路由表的内容

1）检查 No_BGP 场景中路由器 Router2 的路由表内容：

单击 Ctrl+1 键→“**结果**”（Results）菜单→“**打开仿真日志**”（Open Simulation Log）→如下图所示，展开左边的层次结构→单击路由器 Router2 的行中的“**普通路由表**”（COMMON ROUTE TABLE）。



2）在开始时，单击 Ctrl+2 键，为 BGP_Simple 场景执行前面的步骤。下面是两个场景中路由器 Router2 的路由表的部分内容（**注**：根据节点位置的不同，结果可能会有所变化）。

No_BGP 场景中路由器 Router2 的路由表

Dest. Address	Subnet Mask	Next Hop	Interface Name	Metric	Protocol
192.0.3.0	255.255.255.0	192.0.3.1	IF4	0	Direct
192.0.1.0	255.255.255.0	192.0.1.2	IF10	0	Direct
192.0.4.0	255.255.255.0	192.0.4.1	IF11	0	Direct
192.0.5.0	255.255.255.0	192.0.5.1	Loopback	0	Direct
192.0.6.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	1	RIP
192.0.9.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	1	RIP
192.0.10.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	1	RIP
192.0.0.0	255.255.255.0	192.0.1.1	IF10	1	RIP
192.0.2.0	255.255.255.0	192.0.1.1	IF10	1	RIP
192.0.7.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	1	RIP
192.0.8.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	1	RIP
192.0.11.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	2	RIP
192.0.12.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	2	RIP
192.0.13.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	3	RIP
192.0.14.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	3	RIP

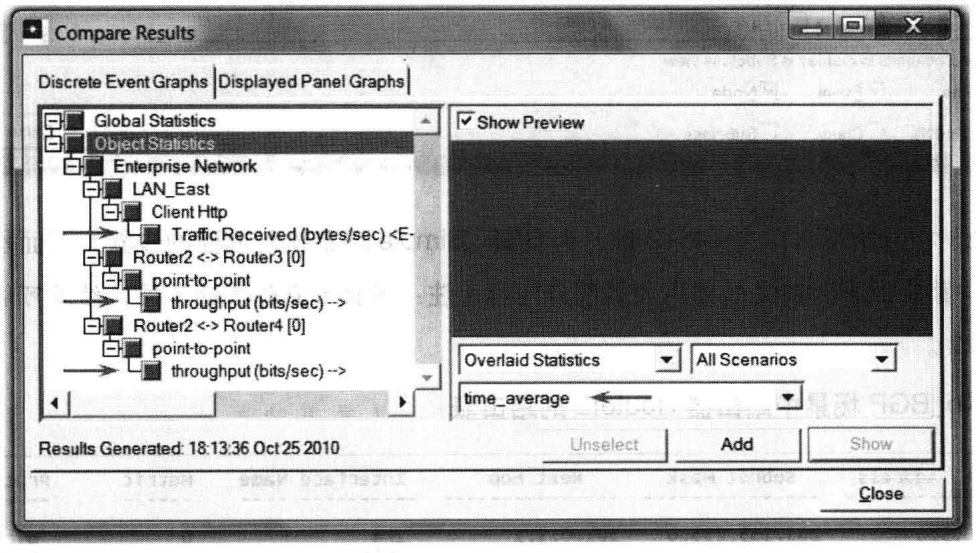
BGP_Simple 场景中路由器 Router2 的路由表

Dest. Address	Subnet Mask	Next Hop	Interface Name	Metric	Protocol
192.0.1.0	255.255.255.0	192.0.1.2	IF10	0	Direct
192.0.5.0	255.255.255.0	192.0.5.1	Loopback	0	Direct
192.0.3.0	255.255.255.0	192.0.3.1	IF4	0	Direct
192.0.4.0	255.255.255.0	192.0.4.1	IF11	0	Direct
192.0.0.0	255.255.255.0	192.0.1.1	IF10	1	RIP
192.0.2.0	255.255.255.0	192.0.1.1	IF10	1	RIP
192.0.10.0	255.255.255.0	192.0.3.2	IF4	0	BGP
192.0.6.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	0	BGP
192.0.8.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	0	BGP
192.0.9.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	2	BGP
192.0.7.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	2	BGP
192.0.11.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	0	BGP
192.0.12.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	0	BGP
192.0.13.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	0	BGP
192.0.14.0	255.255.255.0	192.0.4.2	IF11	0	BGP

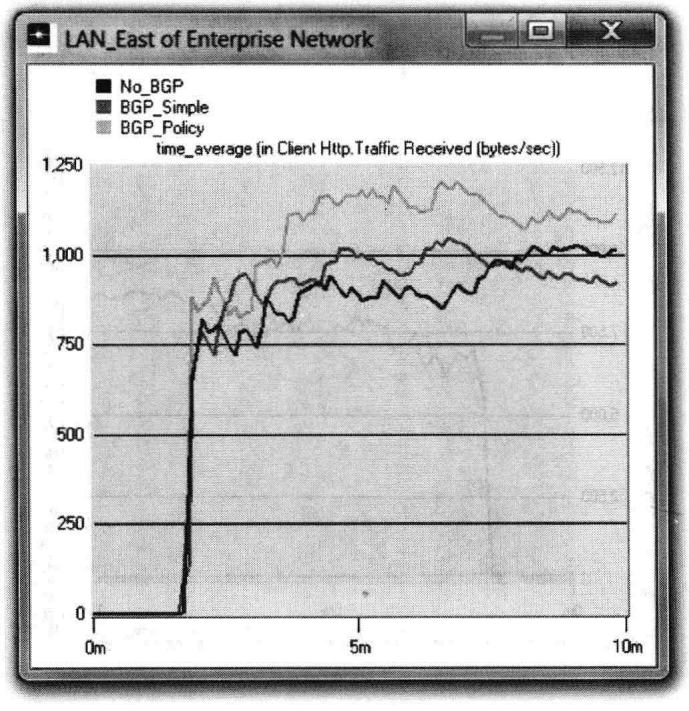
比较网络中的负载

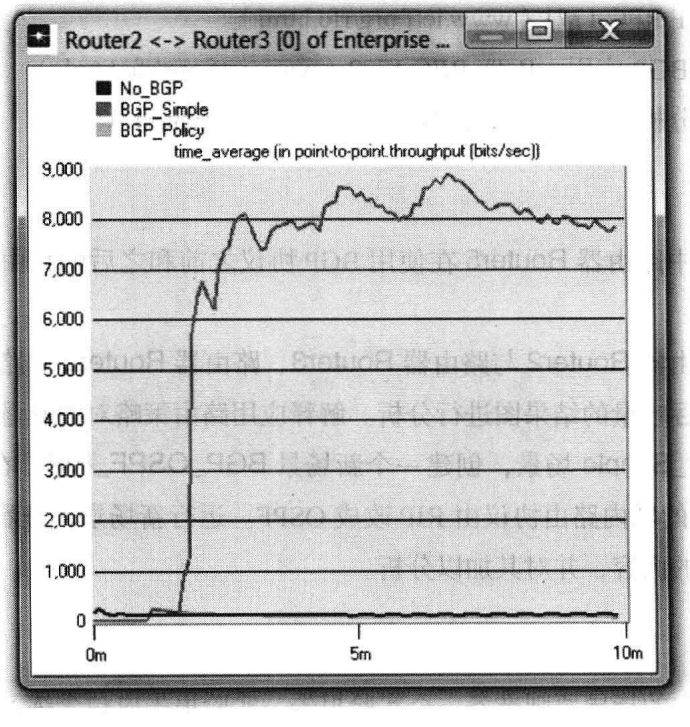
1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

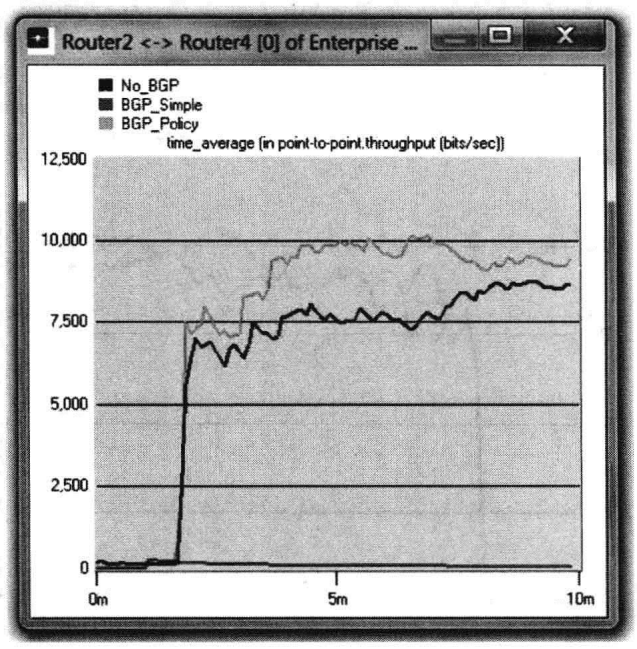
2）如下图所示，在“**比较结果**”（Compare Results）对话框中右下方的下拉菜单中，把“**保持原样**”（As Is）改为“**时间平均**”（time_average）。



3）选择并且显示统计量的结果图：局域网 LAN_East 中的“**接收流量**”（Traffic Received），路由器 Router2 与路由器 Router3 之间链路中的“**吞吐量**”（Throughput），路由器 Router2 与路由器 Router4 之间链路中的“**吞吐量**”（Throughput）。结果图如下图所示。


LAN_East of Enterprise Network
No_BGP
BGP_Simple
BGP_Policy
time_average (in Client Http.Traffic Received (bytes/sec))
1,250
1,000
750
500
250
0
0m
5m
10m


Router2 <-> Router3 [0] of Enterprise ...
No_BGP
BGP_Simple
BGP_Policy
time_average (in point-to-point.throughput (bits/sec))
9,000
8,000
7,000
6,000
5,000
4,000
3,000
2,000
1,000
0
0m
5m
10m



进一步阅读

BGP-4：IETF RFC 1771（www.ietf.org/rfc.html）。

因特网中的 BGP 应用：IETF RFC 1772（www.ietf.org/rfc.html）。

BGP-4 协议分析：IETF RFC 1774（www.ietf.org/rfc.html）。

练习

1. 获取工程中路由器 Router5 在使用 BGP 协议之前和之后的路由表，并对其加以分析。
2. 对显示路由器 Router2 与路由器 Router3、路由器 Router2 与路由器 Router4 之间链路的吞吐量的结果图进行分析。解释应用路由策略对吞吐量的影响。
3. 模仿 BGP_Simple 场景，创建一个新场景 BGP_OSPF_RIP。在这个新场景中，把 AS 56 的域内路由协议由 RIP 改成 OSPF。运行新场景，查看路由器 Router5 中路由表的内容，并对其加以分析。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

移动无线网络

带有移动站的无线局域网

实验目的

本实验对无线局域网中的移动性进行仿真。我们将研究移动对 TCP 性能产生的影响。除此之外，本实验还检验如何使用请求发送（Request To Send，RTS）帧和允许发送（Clear To Send，CTS）帧来避免无线局域网中的移动性所导致的隐蔽站问题。

实验概览

IEEE 802.11 标准的要求之一就是处理无线局域网（Wireless Local Area Networks，WLAN）中与移动站有关的问题。移动站就是在移动中还能访问局域网的工作站。IEEE 802.11 在 MAC 子层中处理因工作站的移动性而引发的问题，因此移动性对网络的高层是隐蔽的。然而，WLAN 的移动性所导致的连接断开和重新连接事件对 TCP 等高层协议的性能有显著的影响。例如，TCP 会把移动造成的连接断开解释成拥塞，于是它就“乘法减小”其拥塞窗口大小；重新连接之后，TCP 又要花费不必要的更长的时间把拥塞窗口恢复到与可用带宽相匹配的大小。

在很多情况下，IEEE 802.11 使用 RTS 和 CTS 来进一步减少冲突。在有移动工作站的 WLAN 中，RTS 和 CTS 对于解决隐蔽站问题特别有用。在发送方和接收方之间传递 RTS 和 CTS 就是告诉附近的工作站传输即将开始。在 RTS/CTS 帧可接收的范围内的工作站可用 RTS/CTS 帧中的持续时间信息设置自己的网络分配矢量（Network Allocation Vector，NAV）。通过这种方法就可以解决隐蔽站问题，任何看见 CTS 帧的工作站知道离接收方已经很近了，因此不能在 NAV 所指示的时间段内进行传输。如果传输的数据帧比较短，就不建议发送 RTS/CTS 帧，因为这样做增加了无用的开销。因此，可定义一个阈值，仅对长度超过该阈值的帧使用 RTS/CTS。

在本实验中，我们将会对带有移动工作站和服务器的无线 LAN 进行仿真。工作站将运行 FTP 应用把文件上传到服务器。我们将研究节点移动性对 FTP 会话中的 TCP 连接性能所产生的影响，以及如何使用 RTS/CTS 帧来避免无线 LAN 中的移动性所引发的隐蔽站问题。

实验前的准备

阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 4.4 节。

浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 无线网和带有冲突避免的多路访问（Wireless Network and Multiple Access with Collision Avoidance）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials> _ MobileWLAN，将场景命名为 Mobile_noRTSCTS → 单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**校园**”（Campus）→ 单击“**下一步**”（Next）→确保“**大小**”（Size）的单位为“**公里**”（Kilometer），设置“**X 范围**”（X Span）为 2，“**Y 范围**”（Y Span）为 1 → 单击“**下一步**”（Next）两次 → 单击“**确定**”（OK）。

创建和配置网络

初始化网络

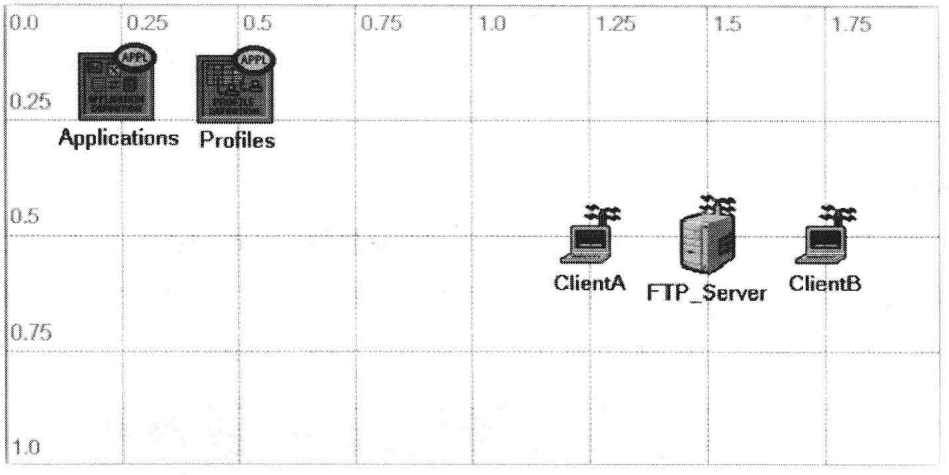
1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部。如果不是，请单击按钮打开它。在“**对象面板**”的下拉菜单中选择“**无线局域网**”（wireless_lan）。

2）从“**对象面板**”上为工程工作区添加如下对象：“**应用配置**”（Application Config）、“**业务规格配置**”（Profile Config）、两个 wlan_wkstn(mob) 工作站和一个 wlan_server (mob) 服务器。

在“**对象面板**”上单击对象的图标以添加对象→移动鼠标至工作区→在预期的位置上单击鼠标放置对象→右击，停止创建该类型的对象。

3）“**关闭**”（Close）面板。

4）如下图所示，放置对象并且对其重命名。



5）通过下表中所示的 x 和 y 的位置，定位工作站和服务器。

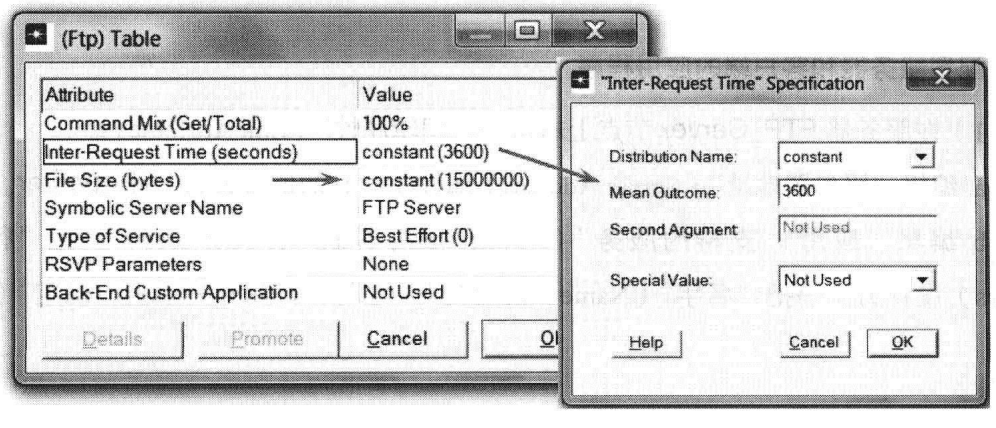
按如下步骤定位对象：在对象上右击→“**高级编辑属性**”（Advanced Edit Attributes）→编辑“**x 坐标**”（x position）和“**y 坐标**”（y position）属性。

节点	x	y
Client A	1.25	0.5
FTP_Server	1.5	0.5
Client B	1.75	0.5

配置应用程序

1）在“**应用**”（Applications）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**应用定义**”（Application Definitions）属性，把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开新行→把行命名为 FTP_Application。

展开“**描述**”（Description）层次结构→如下图所示，编辑 FTP 行（在编辑显示的属性时，需要把“**特殊值**”（Special Value）设置为“**不使用**”（Not Used））。

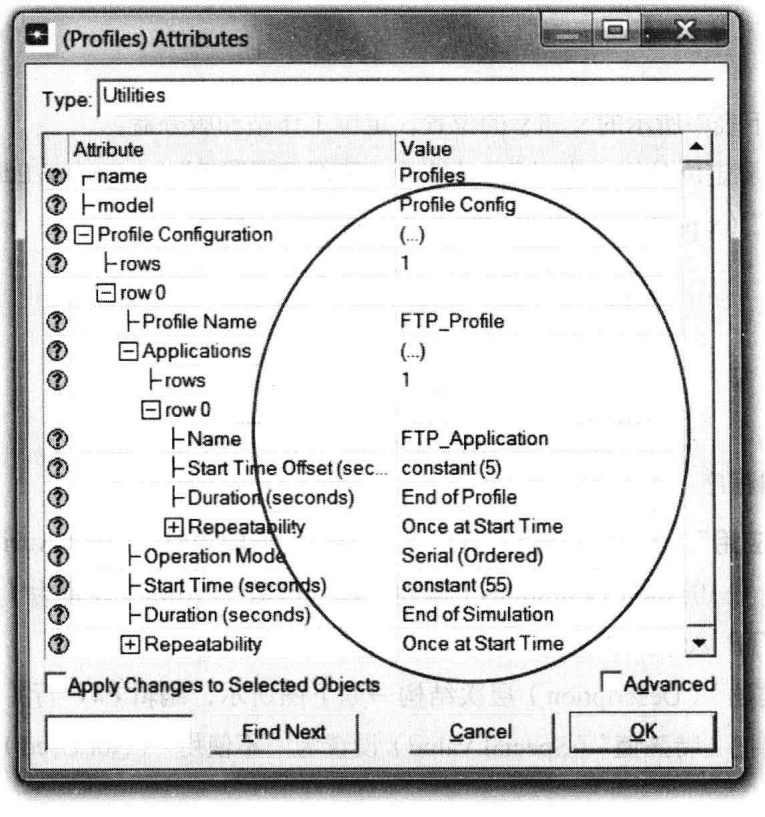


2）单击“**确定**”（OK）两次，“**保存**”（Save）工程。

有益提示 Command Mix(Get/Total) 属性设置为 100%，意思是所有的 FTP 会话将仅从客户端发送到服务器端。

配置业务规格

在“**业务规格**”（Profiles）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**业务规格配置**”（Profile Configuration）属性，把“**行数**”（rows）设置为 1 →如下图所示，设置“**第 0 行**”（row 0）的属性并对其命名→单击“**确定**”（OK）。

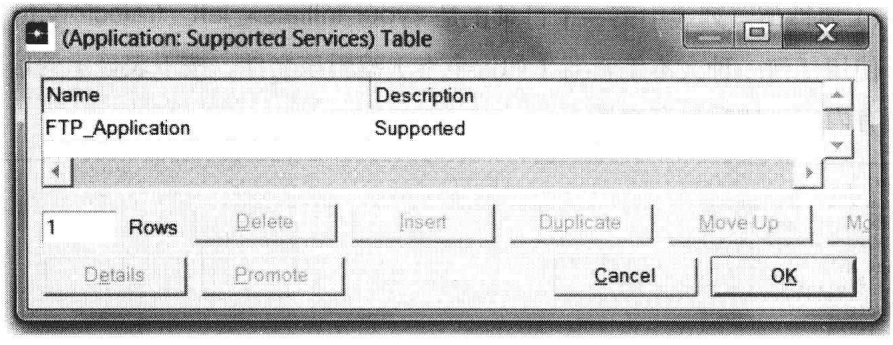


配置服务器和客户端的应用程序

1）在服务器 FTP_Server 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

a. 编辑“**服务器地址**”（Server Address）属性→把它的值设置为 FTP_Server。

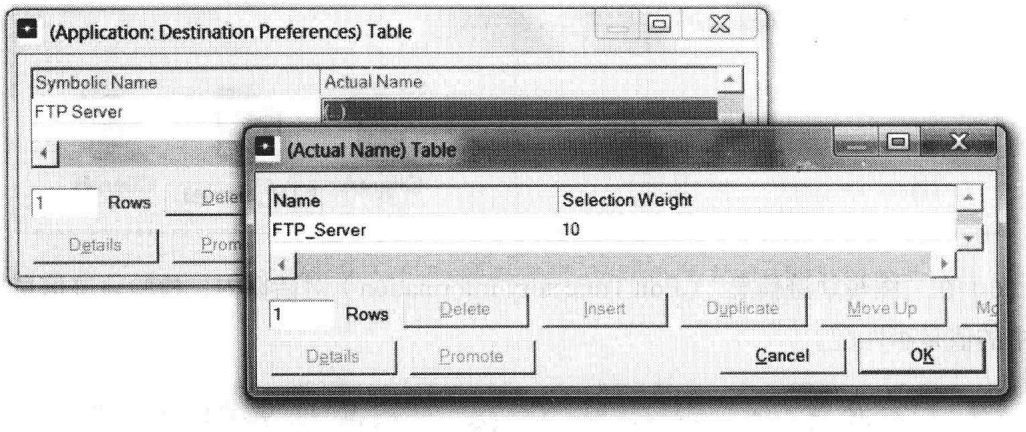
b. 编辑“**应用：支持的服务**”（Application：Supported Services）→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**名字**”（Name）设置为 FTP_Application →单击“**确定**”（OK）两次。



2）同时选择网络中的客户端 ClientA 和 ClientB →在其中任一节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

a. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Application：Supported Profile）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**业务规格名**”（Profile Name）设置为 FTP_Profile。

b. 按如下步骤编辑“**应用：目的地偏好**”（Application: Destination Preferences）属性→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**符号名**”（Symbolic Name）设置为 FTP Server →编辑“**实际名称**”(Actual Name) →把“**行数**”（rows）设置为 1 →在新行中，如下图所示，把“**名称**”（Name）栏设置为 FTP_Server →单击“**确定**”（OK）。



配置轨迹

1）在客户端 ClientA 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**轨迹**”（trajectory）属性设置为 trajectory _1 →单击“**确定**”（OK）。

2）工程工作区中会出现一个绿色的轨迹。在该轨迹上右击，选择“**编辑轨迹**”（Edit trajectory）→在“**编辑轨迹信息**”（Edit Trajectory Information）对话框中，把轨迹命名为 <your initials>_left_ trajectory →单击“**确定**”（OK）。

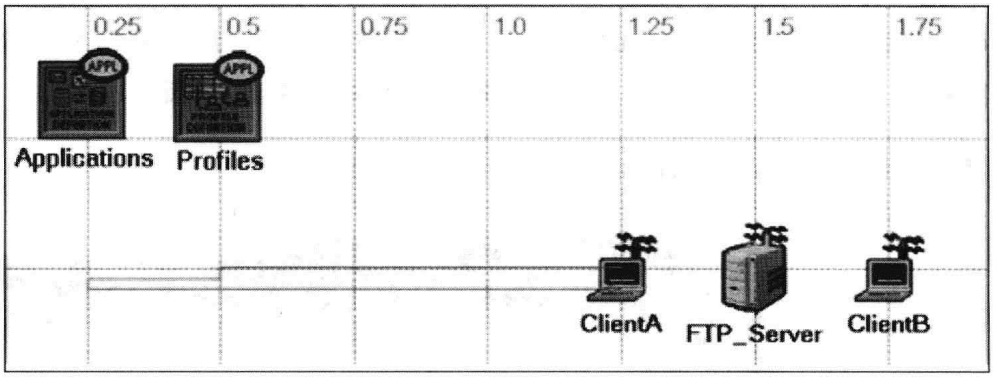
3）从“**编辑**”（Edit）菜单中，选择“**首选项**”（Preferences），选中“**模型目录**”

（mod_dirs）属性值。列表中第一个目录正是 <your initials>_left_ trajectory.trj 文件保存的地方。使用任何一种文本编辑器（如记事本）编辑该文件。按下表显示的信息替换文件中的所有内容，然后保存文件。

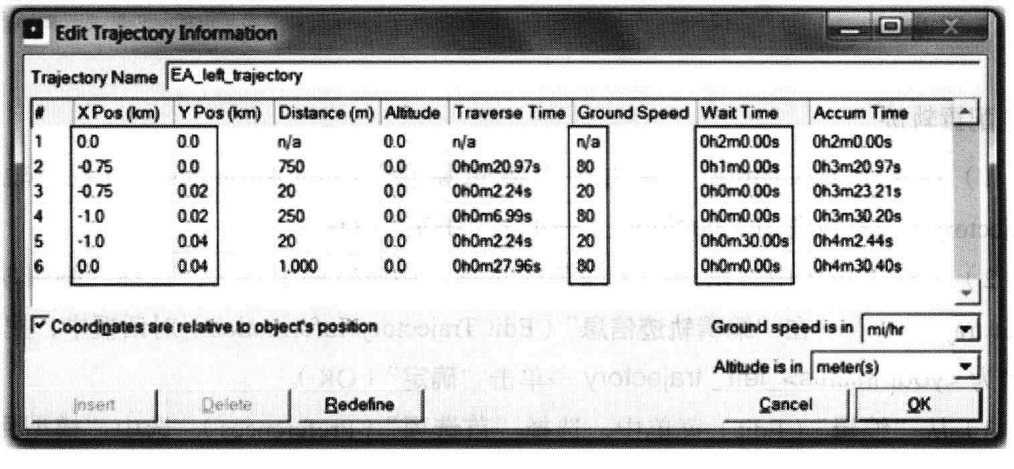
```
Version: 2
Position_Unit: Kilometers
Altitude_Unit: Meters
Coordinate_Method: relative
Altitude_Method: absolute
locale: English_United States.1252
Coordinate_Count: 6
# X Position        Y Position        Altitude          Traverse Time     Wait Time
0                   ,0                ,0                ,0h0m0.00s        ,0h2m0.00s
-0.75               ,0                ,0                ,0h0m20.97s       ,0h1m0.00s
-0.75               ,0.02             ,0                ,0h0m2.24s        ,0h0m0.00s
-1                  ,0.02             ,0                ,0h0m6.99s        ,0h0m0.00s
-1                  ,0.04             ,0                ,0h0m2.24s        ,0h0m30.00s
0                   ,0.04             ,0                ,0h0m27.96s       ,0h0m0.00s
```

4）在客户端 ClientA 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**轨迹**”属性设置为 <your initials>_left_ trajectory →单击“**确定**”（OK）。

5）新轨迹应该与下图一致。在轨迹上右击，选择“**编辑轨迹**”（Edit trajectory）。



6）在“**编辑轨迹信息**”（Edit Trajectory Information）对话框内，检验轨迹信息与下图中的值是否匹配。



#	X Pos (km)	Y Pos (km)	Distance (m)	Altitude	Traverse Time	Ground Speed	Wait Time	Accum Time
1	0.0	0.0	n/a	0.0	n/a	n/a	0h2m0.00s	0h2m0.00s
2	-0.75	0.0	750	0.0	0h0m20.97s	80	0h1m0.00s	0h3m20.97s
3	-0.75	0.02	20	0.0	0h0m2.24s	20	0h0m0.00s	0h3m23.21s
4	-1.0	0.02	250	0.0	0h0m6.99s	80	0h0m0.00s	0h3m30.20s
5	-1.0	0.04	20	0.0	0h0m2.24s	20	0h0m30.00s	0h4m2.44s
6	0.0	0.04	1,000	0.0	0h0m27.96s	80	0h0m0.00s	0h4m30.40s

注：轨迹使客户端 ClientA 在仿真开始 2 分钟后开始移动。客户端 ClientA 在 X=0.5 时停留 1 分钟，在 X=0.25 时停留 20 秒。

7）单击“**确定**”（OK）两次，“**保存**”（Save）工程。

有益提示　轨迹（trajectory）属性指定了一个 ASCII 码轨迹文件，这个文件说明了在仿真过程中移动节点的移动时间和位置。

配置仿真

现在，我们要配置一些仿真参数：

1）单击按钮，出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 **10.0 分钟**。

3）把“**种子**”(Seed) 属性设置为 **256**。

4）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示　种子（Seed）属性是仿真时随机数生成器所使用的整数，它的默认值是 128。

选择统计量

我们将收集如下统计量来检验 WLAN 的性能。

1）在工程工作区的任一地方右击，从弹出的菜单中选择“**选择个体统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，展开“**节点统计量**”（Node Statistics）的层次结构→选择以下 3 个统计量：

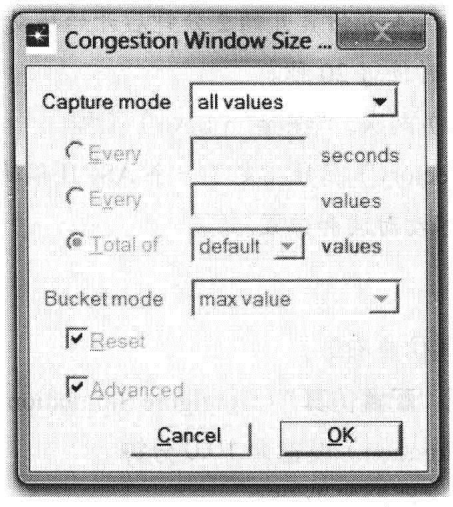
a. “**TCP 连接**”（TCP Connection）下的“**拥塞窗口大小（字节）**”（Congestion Window Size(bytes)）。

b. “**TCP 连接**”（TCP Connection）下的“**接收流量（字节）**”（Traffic Received (bytes)）。

c. “**无线局域网**”（Wireless Lan）下的“**负载（位 / 秒）**”（Load(bits/sec)）。

3）在“**拥塞窗口大小（字节）**”（Congestion Window Size(bytes)）统计量上右击 →选择“**改变收集模式**”（Change Collection Mode）→在对话框中，选择“**高级**”（Advanced）→如下图所示，从下拉菜单中把“**捕获模式**”（Capture Mode）设置为“**所有值**”（all values）→单击“**确定**”（OK）。

4）在“**接收流量（字节）**”（Traffic Received(bytes)）统计量上右击 →选择“**改变收集模式**”（Change Collection Mode）→在对话框中，选择“**高级**”（Advanced）→如下图所示，从下拉菜单中把“**捕获模式**”（Capture Mode）设置为“**所有值**”（all values）→单击“**确定**”（OK）。



5）单击“**确定**”（OK）两次，“**保存**”（Save）工程。

复制场景

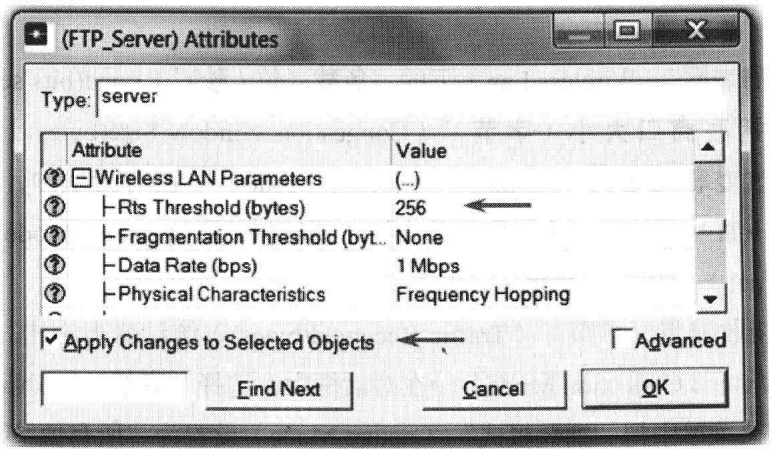
我们将再创建一个场景，研究 RTS/CTS 帧在最小化冲突方面的作用。

1）从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 Mobile_RTSCTS →单击“**确定**”（OK）。

2）同时选择客户端 ClientA、服务器 FTP_Server、客户端 ClientB →在其中任一节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框，见下图。

3）展开“**无线局域网参数**”（Wireless LAN Parameters）属性的层次结构→把“**RTS 阈值（字节）**”（Rts Threshold(bytes)）属性设置为 256。

4）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

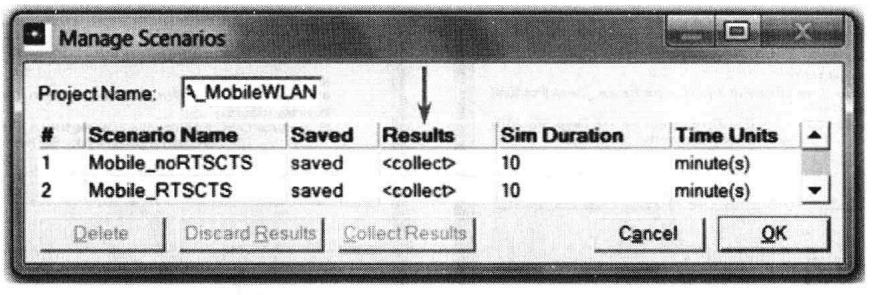


运行仿真

按以下步骤同时运行两个场景的仿真：

1）单击“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）单击每一个场景对应的行，单击“**收集结果**”（Collect Results）按钮。如下图所示，这将把“**结果**”（Results）列中的值改为 <collect>。



3）单击“**确定**”（OK），同时运行两个场景的仿真。根据计算机的处理器速度，完成这个过程需要几分钟。

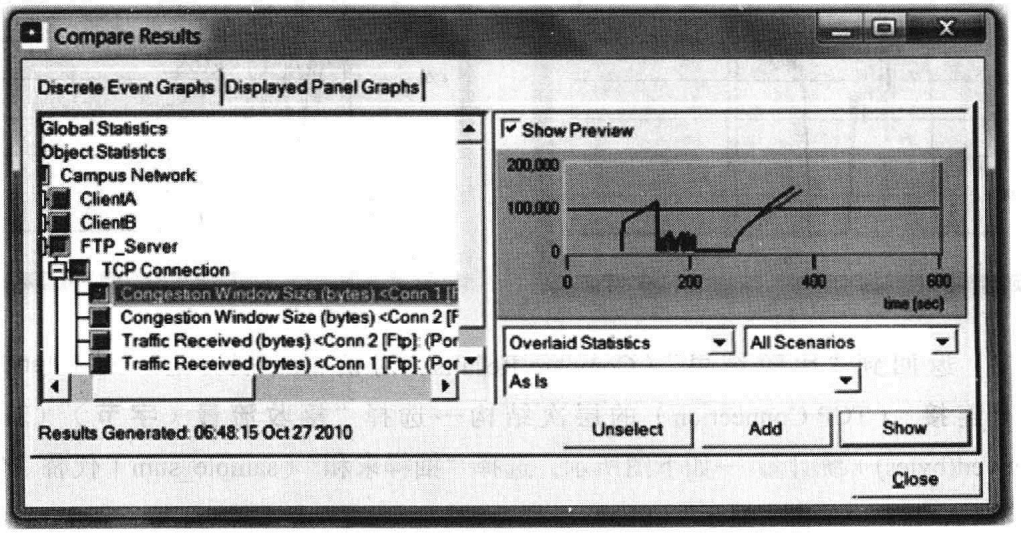
4）两个仿真运行完毕后，“**关闭**”（Close）仿真，“**保存**”（Save）工程。

观察结果

按以下步骤查看并分析结果（**注**：实际结果可能会因为工程中节点实际位置的不同而轻微变化）。

1）在“**结果**”（Result）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

2）如下图所示，从“**TCP 连接**”（TCP Connection）层次结构中为服务器 FTP_Server 选择“**拥塞窗口大小（字节）**”（Congestion Window Size(bytes)<Conn 1…）统计量。



3）单击“**显示**”（Show）按钮，在新面板中显示结果。

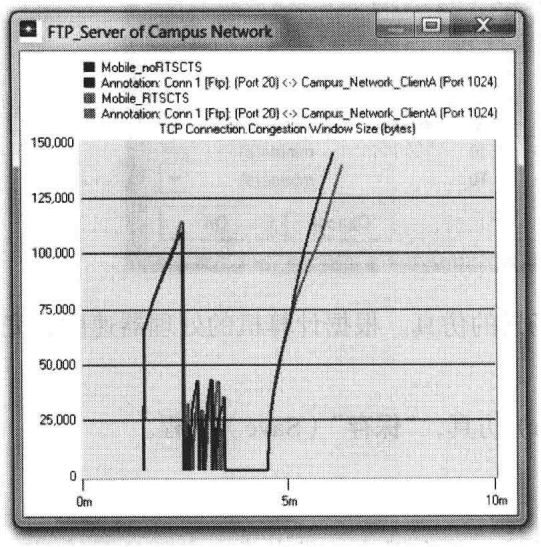
4）对于以下统计量重复前面的步骤：

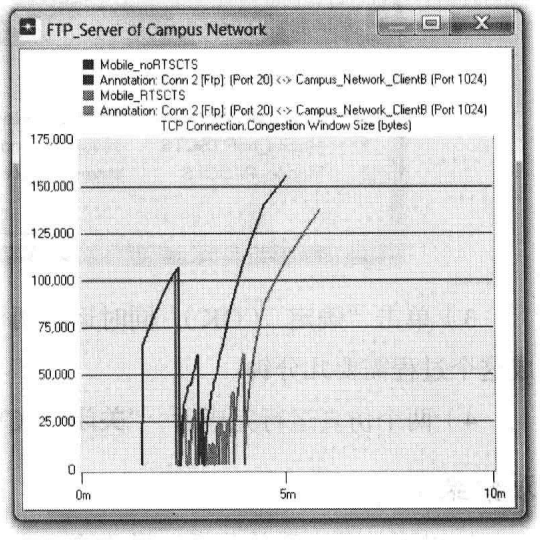
a.FTP Server → TCP Connection → Congestion Window Size(bytes)<Conn 2…。

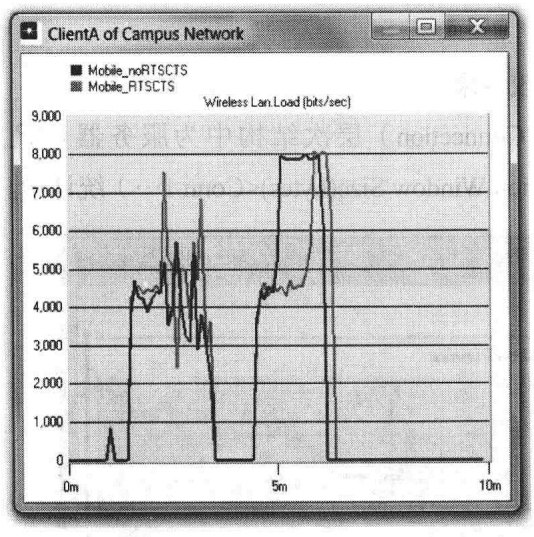
b.ClientA → Wireless LAN → Load(bits/sec)。

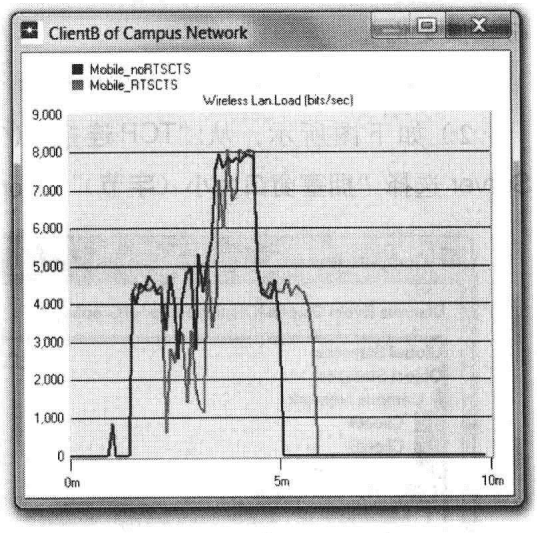
c.ClientB → Wireless LAN → Load(bits/sec)。

结果图如下图所示。







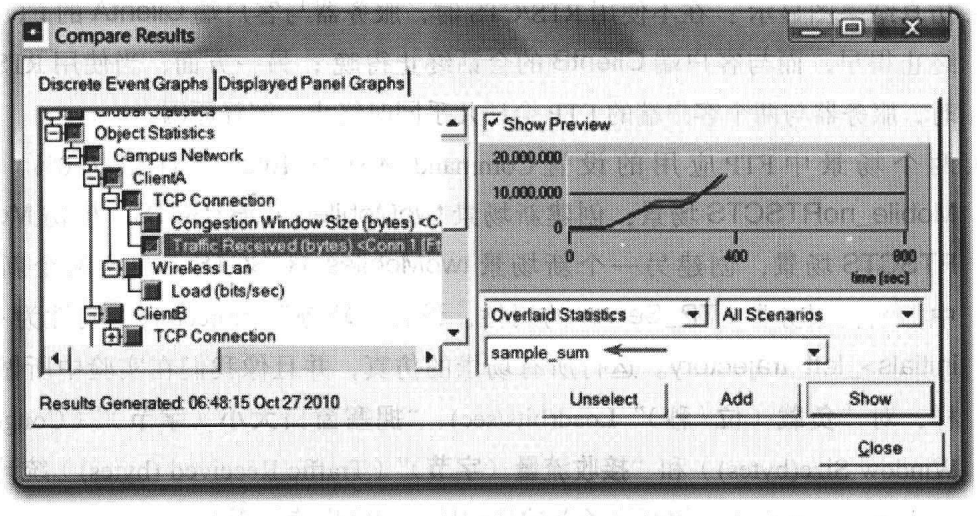


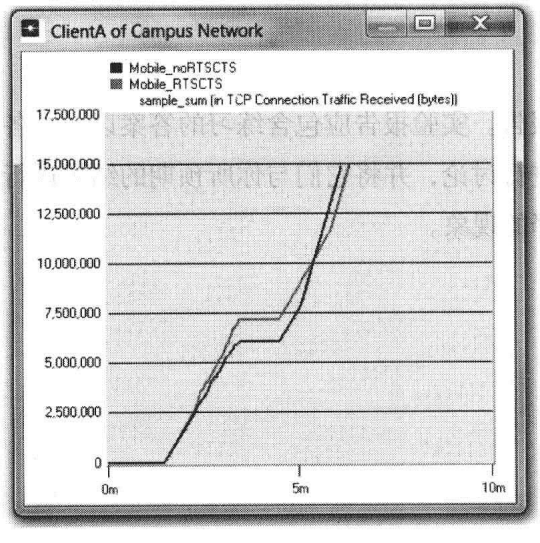
5）返回到“**比较结果**”（Compare Results）对话框→展开客户端 ClientA 的“**TCP 连接**”（TCP Connection）的层次结构→选择“**接收流量（字节）**”（Traffic Received(bytes)）统计量 →如下图所示，选择“**抽样求和**”（sample_sum）代替“**保持原样**”（As Is）→单击“**显示**”（Show）。

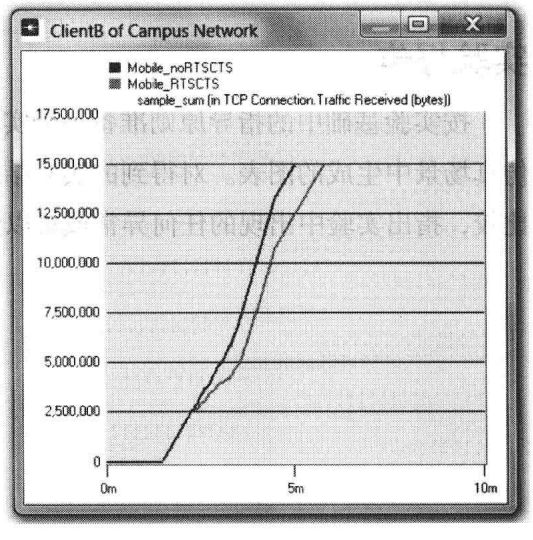
6）对客户端 ClientB 的“**接收流量（字节）**”（Traffic Received(bytes)）统计量重复

上述步骤。

7）结果图如下图所示。







进一步阅读

ANSI/IEEE 标准 802.11, 1999 版：无线 LAN 介质访问控制（Medium Access Control，MAC）和物理层（Physical Layer，PHY）规格。

传输控制协议：IETF RFC 793（www.ieft.org/rfc.html）。

练习

1. 解释**负载**（Load）和**拥塞窗口大小**（Congestion Window Size）如何受到客户端 ClientA 的移动性影响。

2. 解释 RTS/CTS 如何有助于避免隐蔽站问题，再分析 RTS/CTS 帧对网络性能产生的影响。
3. 仿真结果图显示：在不使用 RTS/CTS 时，服务器与客户端 ClientA 的 FTP 会话终止得早，而与客户端 ClientB 的会话终止得晚；另一方面，当使用 RTS/CTS 时，服务器与两个客户端的 FTP 会话几乎同时终止。解释原因。
4. 两个场景中 FTP 应用的设置 Command Mix(Get/Total) 属性值为 0%。模仿 Mobile_noRTSCTS 场景，创建新场景 twoMobiles_noRTSCTS。模仿 Mobile_RTSCTS 场景，创建另一个新场景 twoMobiles_RTSCTS。在这两个新场景中，编辑服务器 FTP_Server 的属性，设置“**轨迹**”（trajectory）属性为 <your initials>_left_trajectory。运行所有场景的仿真，并且像我们在实验中所做的一样，对“**负载（位 / 秒）**” Load(bits/sec)、“**拥塞窗口大小（字节）**”（Congestion Window Size(bytes)）和“**接收流量（字节）**”（Traffic Received (bytes)）统计量结果绘图。分析该图，解释服务器的移动性对网络性能的影响。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

传输控制协议

可靠的、面向连接的字节流服务

实验目的

本实验的目的是演示传输控制协议（Transmission Control Protocol，TCP）的拥塞控制算法。本实验提供了很多场景来仿真这些算法，通过分析仿真结果比较这些算法的性能。

实验概览

因特网的 TCP 协议可以确保字节流按顺序可靠地传输。它包含字节流的流量控制机制，该机制允许接收方对发送方在特定时间内传输的数据量加以限制。除此之外，TCP 还实现了高度可调的拥塞控制机制，该机制是通过调节 TCP 发送数据的速率来防止发送方发送过多数据使网络超载。

TCP 拥塞控制的思想是：为每个源端决定在网络中的可用容量，以便使该源端得知它能够安全地传输多少数据包。它为每一个 TCP 连接维持一个叫做拥塞窗口的状态变量，源端使用这个窗口来限制特定时间内传输的数据量。TCP 使用一种“加法增加，乘法减少”的机制：当网络拥塞程度提高时，TCP 就缩小拥塞窗口；当拥塞程度下降时，TCP 就增大拥塞窗口。TCP 把超时看做是拥塞的迹象，每当出现超时，源端就把拥塞窗口大小设置为原来的一半，这种减半与 TCP 拥塞控制机制的“乘法减少”相对应。拥塞窗口的大小不允许低于单个数据包的大小（TCP 最大数据段长度（Maximum Segment Size，MSS））。每当源端成功地发送一个与拥塞窗口大小一样的数据包时，它就让拥塞窗口增加一个数据包的大小，这就是 TCP 拥塞控制机制的“加法增加”。

TCP 使用一种称为慢启动的机制，在 TCP 连接冷启动时快速地增加拥塞窗口的大小，它是按指数而非线性的速度来增加的。最后，TCP 使用一种称为快速重传和快速恢复（fast retransmit and fast recovery）的机制。快速重传是一种启发式方法，它有时比常规超时重传机制能更快地触发对一个丢失数据包的重传。

在本实验中，你将创建一个网络，以 TCP 协议作为其端到端的传输协议。你将对不同机制下的拥塞窗口大小进行分析。

实验前的准备

阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 5.2 节。

访问 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- TCP 连接（TCP Connections）。
- TCP 多路复用（TCP Multiplexing）。
- TCP 缓冲和排序（TCP Buffering and Sequencing）。
- 用户数据报协议（User Datagram Protocol(UDP)）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials> _ TCP，将场景命名为 No_Drop →单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项→单击“**下一步**”（Next）→从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**从地图中选择**”（Choose From Maps）→单击“**下一步**”（Next）→从地图列表上选择“**美国**”（USA）→单击“**下一步**”（Next）两次→单击“**确定**”（OK）。

创建和配置网络

初始化网络

1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部。如果不是，请单击▣按钮，打开它。在“**对象面板**”的下拉菜单中选择“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

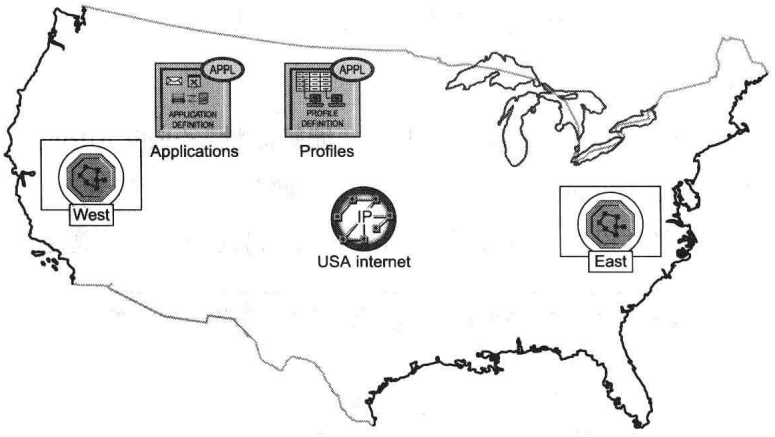
2）从“**对象面板**”上为工程工作区添加如下对象：“**应用配置**”（Application Config）、“**业务规格配置**”（Profile Config）、一个 ip32_Cloud 和两个“**子网**”（subnets）。

在“**对象面板**”上单击对象的图标以添加对象→移动鼠标至工程区，单击，放置对象→右击，停止创建该类型的对象。

3）“**关闭**”（Close）面板。

4）如下图所示，“**重命名**”（Rename）添加的对象。

5）“**保存**”（Save）工程。

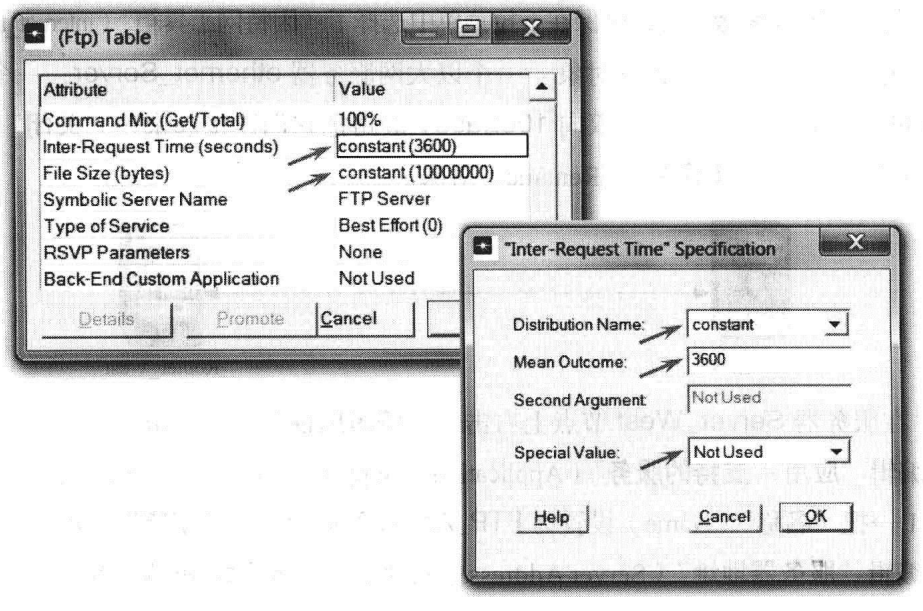


有益提示　ip32_Cloud 节点模型代表一个 IP 云，它支持多达 32 个可选择数据传输率的串行链路接口，通过这些接口可对 IP 流量建模。到达任何云接口的 IP 数据包会根据它们的目的地址路由到一个合适的输出端口。RIP 或者 OSPF 可用来自动地动态创建该 IP 云的路由表，并以一种自适应的方式选择路由。该 IP 云需要一个固定的时间量路由每个数据包，时间量是由节点属性的**数据包延迟**（Packet Latency）来决定。

配置应用

1）在“**应用**”（Applications）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**应用定义**”（Application Definitions）属性，把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开新行→把新行命名为 FTP_Application。

展开“**描述**”（Description）层次结构→如下图所示，编辑 FTP 行（在编辑显示属性时，需要把“**特殊值**”（Special Value）设置为“**不使用**”（Not Used））。

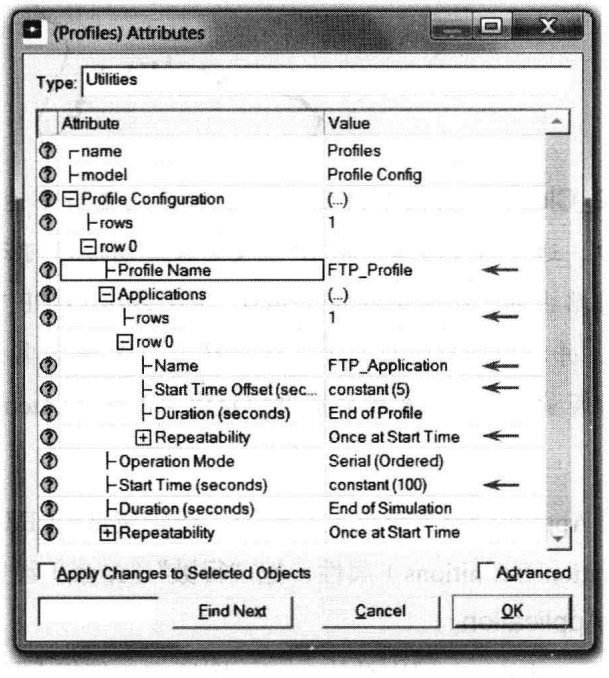


2）单击“**确定**”（OK）两次，“**保存**”（Save）工程。

配置业务规格

在“**业务规格**”（Profiles）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**业务规格配置**”（Profile Configuration）属性，把“**行数**”（rows）设置为 1。

如下图所示，命名并设置“**第 0 行**”（row 0）的属性→单击“**确定**”（OK）。

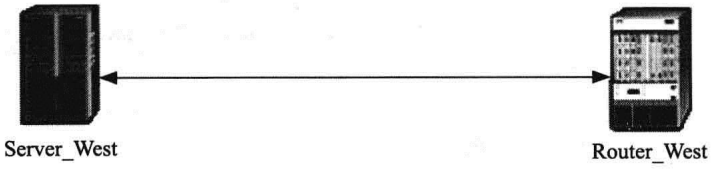


配置西部子网 West

1）在西部子网 West 上双击，将得到一个空工程区，表明此子网不包含任何对象。

2）打开“**对象面板**”，确保在下拉菜单中选择了“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

3）为子网工程区添加如下对象：一个以太网服务器 ethernet_Server，一个路由器 ethernet4_slip8_gtwy，用一个双向 100BaseT 链路把它们连接起来→“**关闭**”（Close）面板→如下图所示，“**重命名**”（Rename）对象。



4）在服务器 Server_West 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）：

a. 编辑“**应用：支持的服务**”（Application：Supported Services）→把“**行数**”（rows）设置为 1→把“**名称**”（Name）设置为 FTP_Application →单击“**确定**”（OK）。

b. 编辑“**服务器地址**”（Server Address）属性值→输入 Server_West。

c. 展开“**TCP 参数**”（TCP Parameters）的层次结构→把“**快速重传**”（Fast Retransmit）和“**快速恢复**”（Fast Recovery）设置为“**无效的**”（Disabled）。

5）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

现在，已经完成了西部子网 West 的配置。单击“**返回上一级**”（Go to next higher level）按钮，返回到工程的主页。

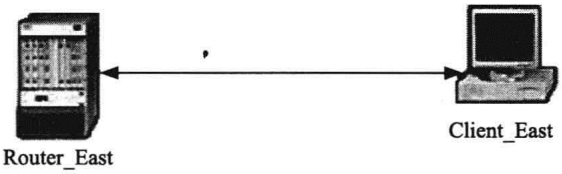
有益提示　ethernet4_slip8_gtwy 节点模型代表一个基于 IP 的网关，该网关支持 4 个以太网集线器接口和 8 个串行链路接口。

配置东部子网 East

1）在东部子网 East 上双击，将得到一个空工程区，表明此子网不包含任何对象。

2）打开“**对象面板**”，确保在下拉菜单中选择了“因特网工具箱”（internet_toolbox）。

3）为子网工程区添加如下对象：一个以太网工作站 ethernet_wkstn，一个路由器 ethernet4_slip8_gtwy，用一条双向 100BaseT 链路把它们连接起来→“**关闭**”（Close）面板→如下图所示，“**重命名**”（Rename）对象。



4）在客户端 Client_East 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）：

a. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Application：Supported Profiles）的层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→把“**业务规格名称**”（Profile Name）设置为 FTP_Profile。

b. 把“**客户端地址**”（Client Address）属性设置为 Client_East。

c. 如下所示，编辑“**应用：目的地偏好**”（Application: Destination Preference）属性：

把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**符号名**”（Symbolic Name）设置为 FTP Server →编辑“**实际名称**”（Actual Name）→把“**行数**”（rows）设置为 1 →在新行中，把“**名称**”（Name）栏属性设置为 Server_West。

5）单击“**确定**”（OK）3 次，“**保存**”（Save）工程。

现在，已经完成了东部子网 East 的配置。单击“**返回上一级**”（Go to next higher level）按钮，返回到工程主页。

连接子网与 IP 云

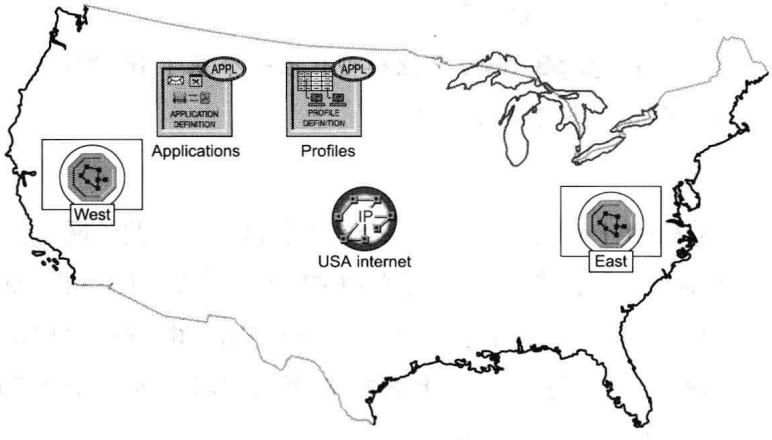
1）打开“**对象面板**”。

2）使用两个 PPP_DS3 双向链接把子网 East 和子网 West 连接到“**IP 云**”（IP

Cloud）中。

3）此时弹出一个对话框，问你用什么把子网连接到“**IP 云**”（IP Cloud）中。确保选择“**路由器**”（routers）。

4）“**关闭**”（Close）面板。

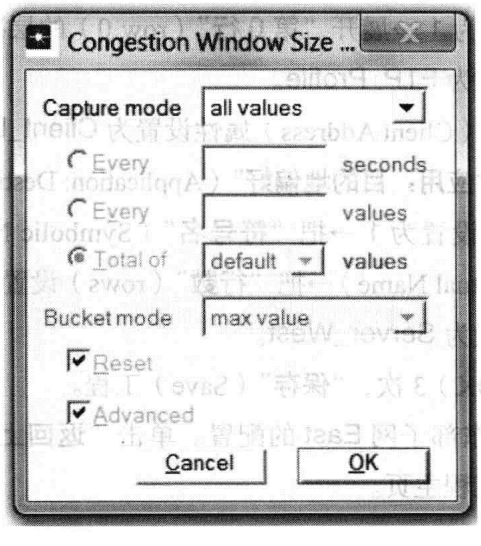


选择统计量

1）在子网 West 的服务器 Server_West 上右击，从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，选择以下统计量：

a.“**TCP 连接**”（TCP Connection）→“**拥塞窗口大小（字节）**”（Congestion Window Size(bytes)）和“**发送段序列号**”（Sent Segment Sequence Number）。



b. 在“**拥塞窗口大小（字节）**”（Congestion Window Size(bytes)）统计量上右击→选择“**改变收集模式**”（Change Collection Mode）→在对话框中，选择“**高级**”（Advanced）→从下拉菜单中把“**捕捉模式**”（Capture mode）设置为“**所有值**”（all

values）→单击“**确定**”（OK）。

c. 在“**发送数据段序列号**”（Sent Segment Sequence Number）统计量上右击→选择“**改变收集模式**”（Change Collection Mode）→在对话框中选择“**高级**”（Advanced）→从下拉菜单中，把“**捕捉模式**”（Capture mode）设置为“**所有值**”（all values）。

3）单击“**确定**”（OK）两次，“**保存**”（Save）工程。

4）单击“**返回上一级**”（Go to next higher level）按钮。

有益提示　OPNET 提供以下的捕捉模式：

所有值（All values）：该模式从统计量中收集每一个数据点。

采样（Sample）：该模式根据用户指定的时间间隔或者采样计数来收集数据。例如，如果时间间隔是 10，那么每隔 10 秒将会采样并且记录一次数据；如果采样计数是 10，那么每隔 10 个数据点将会记录一次数据。其他数据点将会被丢弃。

桶（Bucket）：该模式把时间间隔内或者采样计数内的所有数据点收集到一个“数据桶”中，再从每一个桶中产生一个结果。这是默认模式。

配置仿真

现在，我们需要配置仿真的持续时间：

1）单击按钮，出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 **10 分钟**（10 minutes）→单击“**确定**”（OK）。

复制场景

在刚刚创建的场景中，假设该网络是一个没有丢弃任何数据包的完美网络，而且 TCP 中的快速重传和快速恢复选项已设置为无效。我们将创建另外两个场景，对丢弃数据包和拥塞控制技术的影响进行分析。

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 **Drop_NoFast** →单击“**确定**”（OK）。

在新场景中，在“**IP 云**”（IP Cloud）上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**数据包丢弃率**”（Packet Discard Ratio）属性设置为 **0.05%** →单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

2）在 **Drop_NoFast** 场景中，从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择**复制场景**（Duplicate Scenario），将其命名为 **Drop_Fast**。

在 **Drop_NoFast** 场景中，在“**子网 West 中的服务器**”（Server_West）上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**TCP 参数**”（TCP Parameters）的层次结构→把“**快速重传**”（Fast Retransmit）属性设置为“**有效的**”（Enable）→把“**快速恢复**”（Fast

Recovery）属性设置为 Reno[⊖]。

3）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示 TCP 使用**快速重传**（fast retransmit）机制重新传输那些看似消失的数据段，而不需要等到重传定时器超时之后。

快速重传发送了一些看似消失的数据段以后，将执行拥塞避免而非慢启动，这就是快速恢复（fast recovery）算法。

快速重传和快速恢复算法通常一起使用（RFC 2001）。

运行仿真

按以下步骤同时运行 3 个场景的仿真：

1）单击“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）把 3 个场景中“**结果**”（Results）列中的值改为 <collect>（或者 <recollect>）。与下图做个比较。

3）单击“**确定**”（OK），运行 3 个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

4）仿真运行完成以后，单击“**关闭**”（Close）→“**保存**”（Save）工程。

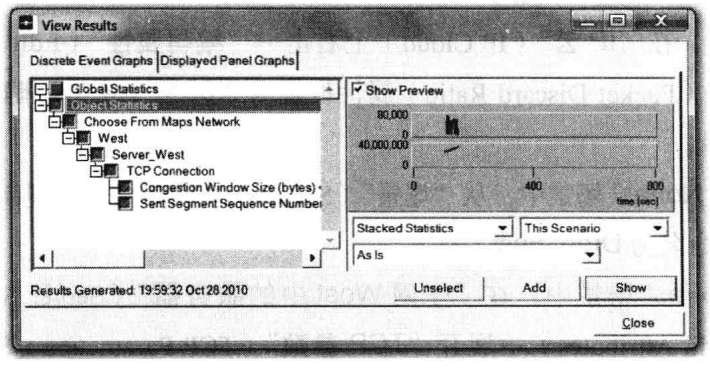
观察结果

按以下步骤观察并且分析结果：

1）切换到 Drop_NoFast 场景（第 2 个场景）。在“**结果**”（Results）菜单中选择“**查看结果**”（View Results）。

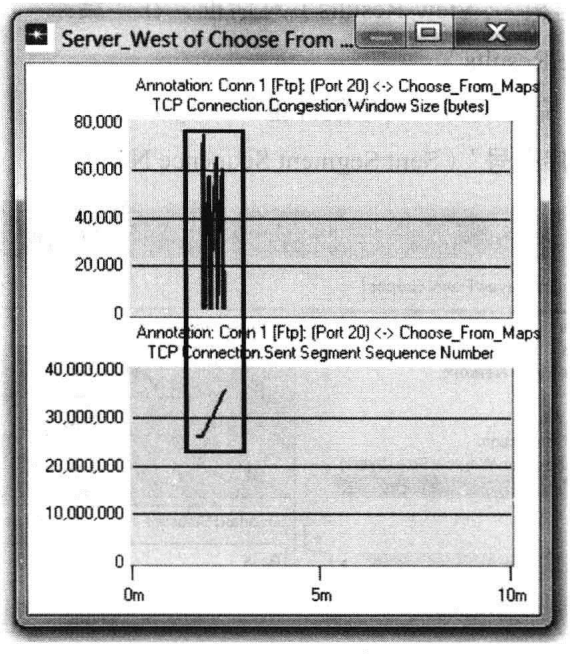
有益提示 从“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**切换场景**”（Switch to Scenario）或者按 Ctrl+ **场景号**（<scenario number>）以切换场景。

2）完全展开“**对象统计量**”（Object Statistics）的层次结构，选择以下两个统计量：“**拥塞窗口大小（字节）**”（Congestion Window Size（bytes））和“**发送段序列号**”（Sent Segment Sequence Number）。

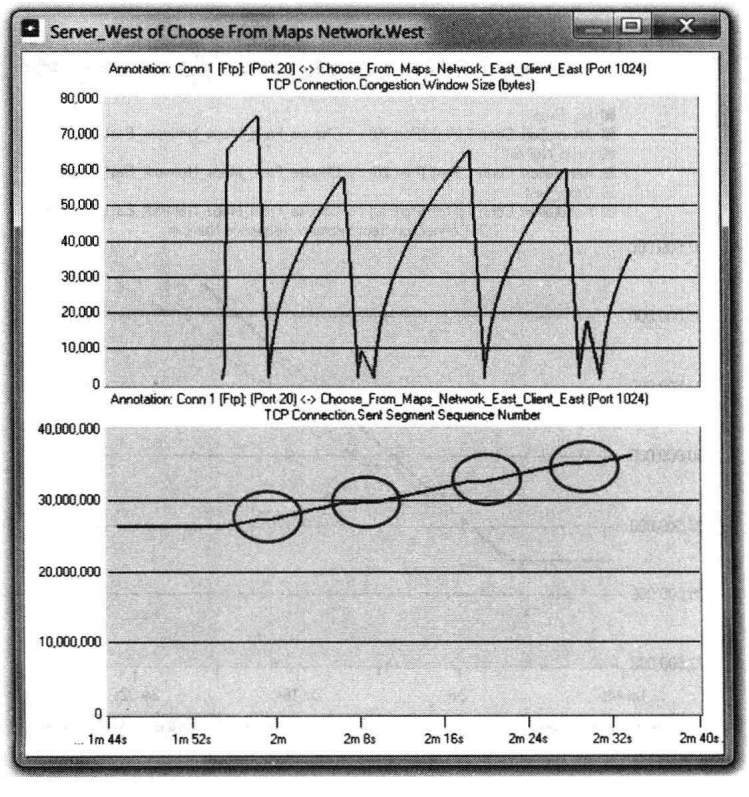


⊖ RFC 2581 中已经定义了 TCP 的快速重传（fast retransmit）和快速恢复（fast recovery）算法，也称为基本 Reno 算法。——译者注

3）单击“**显示**”（Show）按钮。结果图如下图所示。



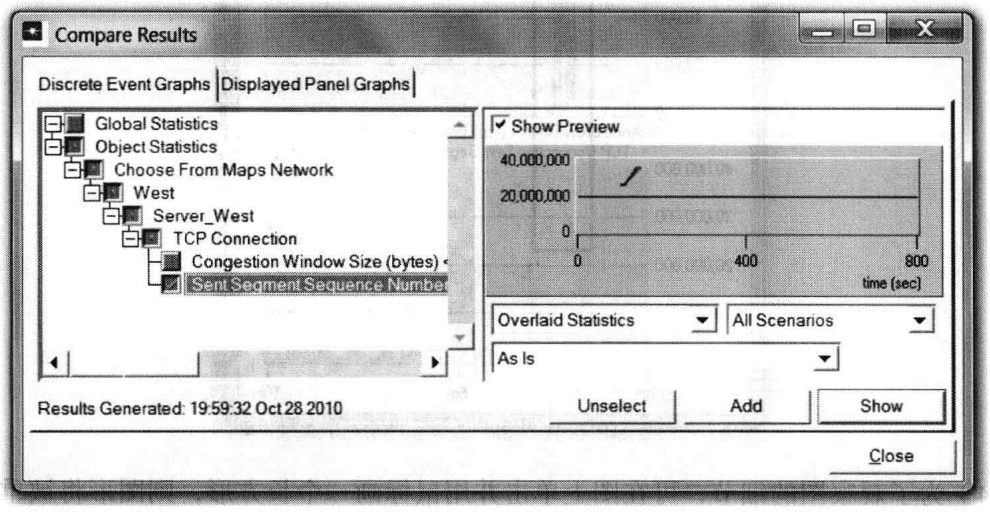
4）为了观察图的细节，可在图上单击并用鼠标画一个长方形，则图形将被重新绘制，如下图所示。



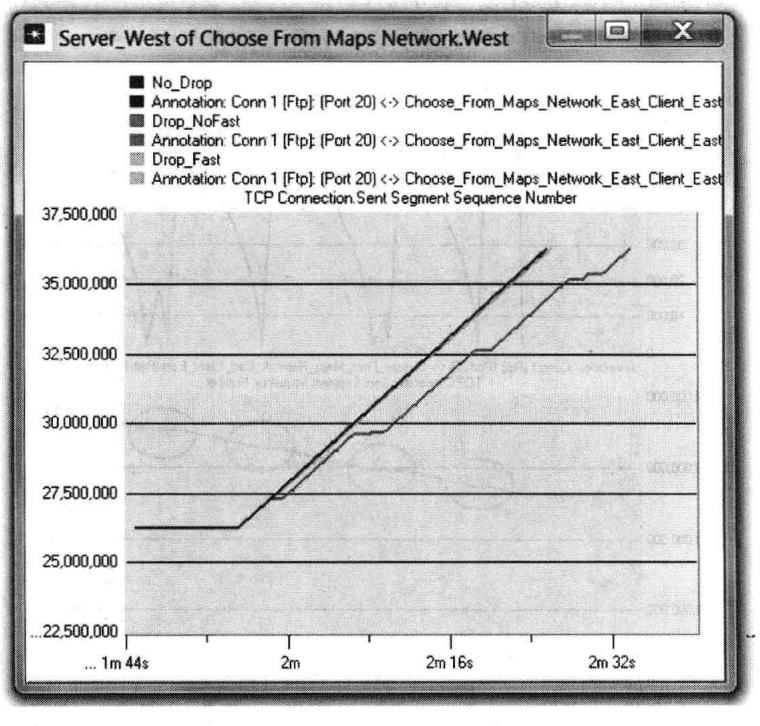
注：每当拥塞窗口下降时，**发送段序列号**（Segment Sequence Number）几乎不变。

5）关闭“**观察结果**”（View Results）对话框，在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

6）如下图所示，完全展开“**对象统计量**”（Object Statistics）的层次结构，选择下面的统计量：“**发送段序列号**”（Sent Segment Sequence Number）。



7）单击“**显示**”（Show）按钮，图形放大后如下图所示。



进一步阅读

OPNET TCP 模型描述：在“**协议**”（Protocols）菜单中，选择 TCP →“**模型使用手册**”（Model Usage Guide）。

传输控制协议：IETF RFC 793（www.ietf.org/rfc.html）。

练习

1. 为什么拥塞窗口每次减小时，**发送段序列号**（Sent Segment Sequence Number）却保持不变（图中用一条水平线表明）？
2. 分析 3 个场景中的**发送段序列号**（Sent Segment Sequence Number）的比较图。为什么在 Drop_NoFast 场景中段序列号增长最慢？
3. 在 Drop_NoFast 场景中，作一个重叠（overlaid）图，把**发送段序列号**（Sent Segment Sequence Number）与服务器 Server_West **接收段确认号**（Received Segment ACK Number）进行比较，并解释此图。**提示**：确保把**接收段确认号**（Received Segment ACK Number）统计量的**捕捉模式**（Capture mode）的属性设置为**所有值**（all values）。
4. 创建一个和 Drop_NoFast 场景一样的新场景 Q4_Drop_Fast_Buffer。在新场景中，编辑客户端 Client_East 节点的属性，把**接收方缓存区**（**字节**）（Receiver Buffer(bytes)）属性（TCP 协议的一个参数）设置为 65535。作图解释增加接收端缓存区如何影响服务器 Server_West 的拥塞窗口大小（这需要把 Drop_Fast 场景中的拥塞窗口大小图与相应的 Q4_Drop_Fast_Buffer 场景中的拥塞窗口大小图进行比较）。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

排队准则

数据包传输顺序和丢包

实验目的

本实验的目的是针对不同服务类型检验多种排队准则对数据包传递和延迟的影响。

实验概览

作为资源分配机制的一部分，每个路由器都必须执行一定的排队准则，它们在数据包等待转发期间负责管理如何对其进行缓存。有多种排队准则可以用来控制哪些数据包转发（带宽分配），哪些数据包丢弃（有限的缓冲空间）。排队准则同样也影响着数据包的等待时间，它决定数据包需要等待多久才能够转发。常用的排队策略有：先进 / 先出队列（First-In/First-Out，FIFO）、优先队列（Priority Queuing，PQ）、加权公平队列（Weighted-Fair Queuing，WFQ）。

FIFO 队列的思想是：按先进先出的原则传输到达路由器的数据包。由于每个路由器的缓冲区大小是有限的，如果数据包到达时，队列（缓冲区）已满，那么路由器将丢弃该数据包。不管数据包属于哪个流，或者数据包有多么重要，系统都会这么做。

PQ 队列是基本 FIFO 排队准则的一个简单变种。其思想是：为每个数据包标记一个优先级，例如，在 IP 的服务类型（Type of Service，ToS）域中携带该标记。路由器实现了多个 FIFO 队列，为每个优先级类对应一个队列。在每个优先级类中，仍然按照 FIFO 准则管理数据包。这种排队准则允许优先级高的数据包插到队列前面。公平队列（Fair Queuing，FQ）的准则是：路由器为当前处理的每个流维护一个独立的队列，然后路由器轮流为这些队列进行服务。加权公平队列（WFQ）给每个流（队列）分配一个权值，该权值有效地控制了分配给每个流的链路带宽的比例。我们可以使用 IP 头中的 ToS 位对权值进行标识。

在本实验中，你将创建一个网络，该网络有 3 个应用：文件传输协议（File Transfer Protocol，FTP）、视频（Video）、基于 IP 的语音（Voice over IP，VoIP）。你将研究路由器中的排队准则如何影响应用的性能及其网络资源的利用率。

实验前的准备

阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 6.2 节。

访问 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- 交换式拥塞（Switch Congestion）。
- IP 分片（IP Fragmentation）。

实验步骤

创建新工程

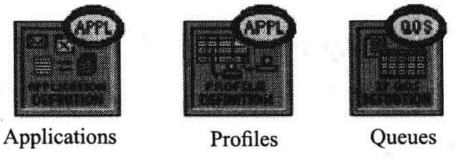
1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

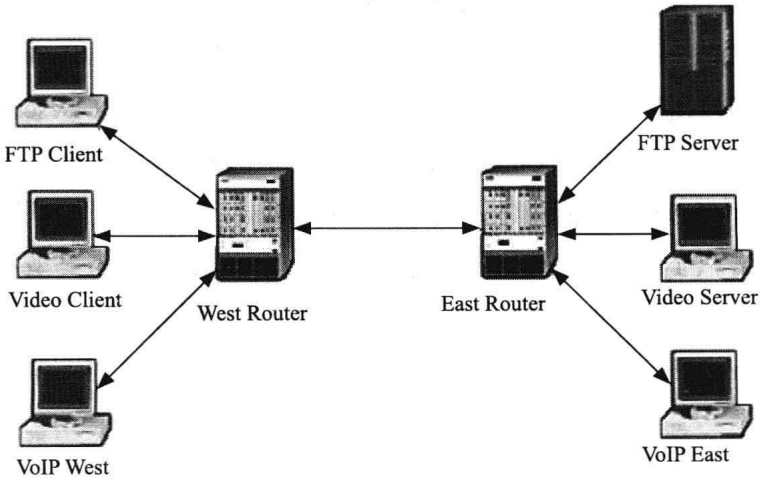
2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials>_Queues，将场景命名为 FIFO →单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**校园**”（Campus）→单击“**下一步**”（Next）3 次→单击“**确定**”（OK）。

创建并配置网络

初始化网络





1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部。如果不是，请单击按钮打开它。在“**对象面板**”的下拉菜单中选择“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

2）从面板上为工程工作区添加如下对象：“**应用配置**”（Application Config）、“**业务规格配置**”（Profile Config）、“**服务质量属性配置**”（QoS Attribute Config）、5 个以太网工作站 ethernet_wkstn、1 个以太网服务器 ethernet_server、2 个路由器 ethernet4_slip8_gtwy。

3）用双向链路 PPP_DS1 把两个路由器连接起来。

4）如图所示，使用双向链路 10Base_T 把工作站和服务器连接到路由器上。

5）如图所示，重新命名添加的对象，“**保存**”（Save）工程。

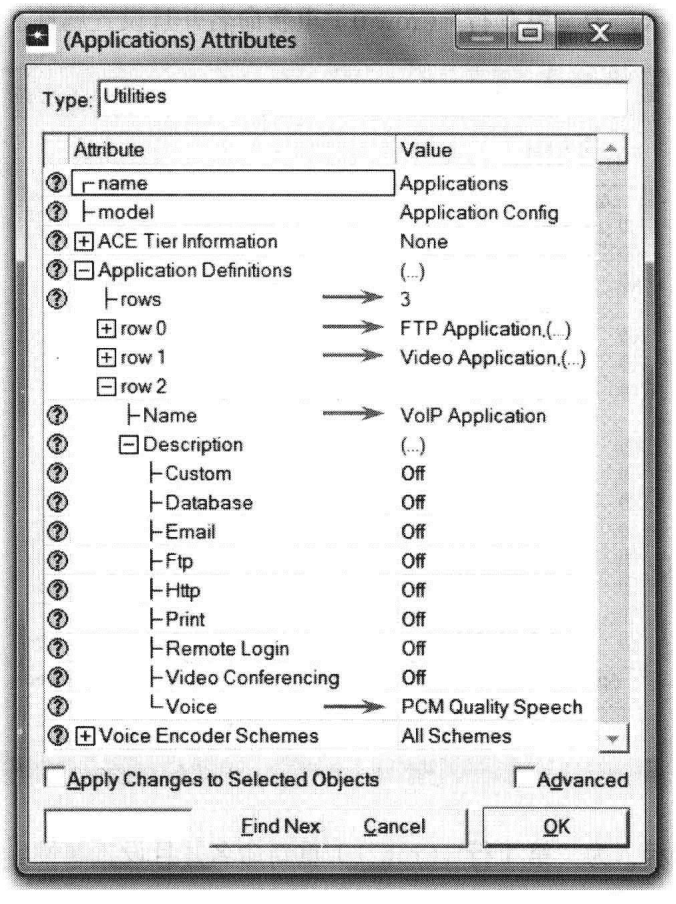
有益提示　QoS 属性配置（QoS Attribute Config）节点定义 IP 层支持的协议的属性配置细节。这些细节可以被单个节点使用符号名来加以引用，QoS 属性配置节点定义不同的排队规格，例如，FIFO、WFQ、优先排队、自定义排队算法、MWRR、MDRR 和 DWRR 等。

配置应用

1）在“**应用**”（Applications）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**应用定义**”（Application Definitions）的层次结构，把“**行数**”（rows）设置为 3→把新行分别命名为：“**FTP 应用**”（FTP_Application）、“**视频应用**”（Video Application）和“**VoIP 应用**”（VoIP Application）。

2）a. 在“**FTP 应用**”（FTP_Application）行上→展开“**描述**”（Description）的层次结构→把 FTP 设置为“**高负载**”（High Load）→单击“**高负载**”（High Load）值，从下拉菜单中选择“**编辑**”（Edit）→把“**内部请求时间**”（Inter-Request Time）设置为“**常量 10**”（Constant(10)）→把“**文件大小**”（File Size）设置为“**常量 1000000**”（Constant(1000000)）→保持服务类型（ToS）为“**尽力而为**”（Best Effort(0)）。

b. 在“**视频应用**”（Video Application）行上→展开“**描述**”（Description）的层次结构→把“**视频会议**”（Video Conferencing）设置成“**低分辨率视频**”（Low Resolution Video）→单击“**低分辨率视频**”（Low Resolution Video）值，选择“**编辑**”（Edit）→编辑“**服务类型域**”（Type of Service field）的值（此时出现**配置服务类型 / 区分服务代码点**（Configure TOS/DSCP）窗口）→从下拉菜单中，把“**服务类型**”（ToS）设置为“**流媒体**”（Streaming Multimedia）→单击“**确定**”（OK）两次。



c. 在“**VoIP 应用**”（VoIP Application）行上→展开“**描述**”（Description）层次结构→把“**语音**”（Voice）设置为“**脉冲编码调制质量语音**”（PCM Quality Speech）。如果对其进行编辑，你会看见“**服务类型**”（ToS）被设置为“**交互语音 (6)**”（Interactive Voice(6)）。

3）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示　服务类型（Type of Service，ToS）在 IP 数据包格式中可以设置。它表示一种会话属性：允许 IP 队列为数据包提供适当的服务。

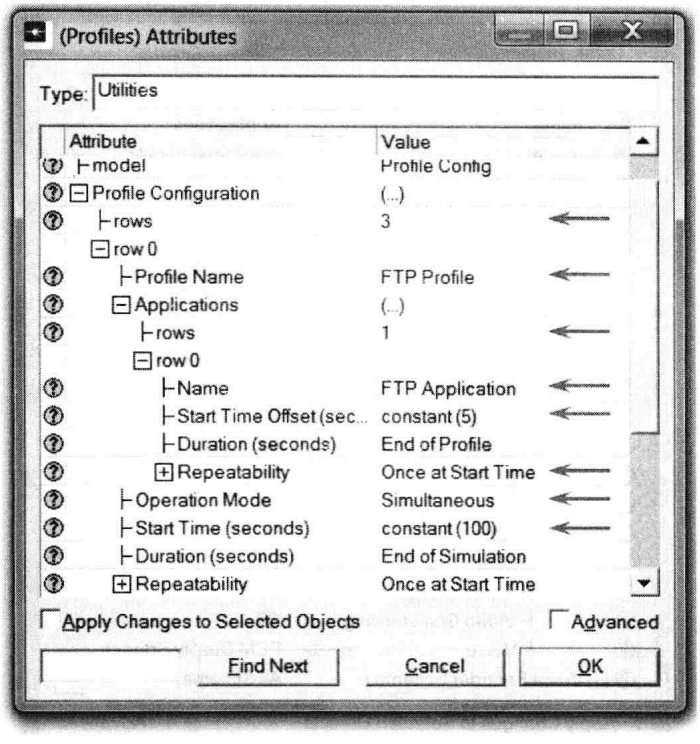
尽力而为（Best Effort）交付表明尽力交付数据包，但是并不能保证交付。

脉冲编码调制（Pulse Code Modulation，PCM）是在网络中传输语音之前对其进行数字化的过程。

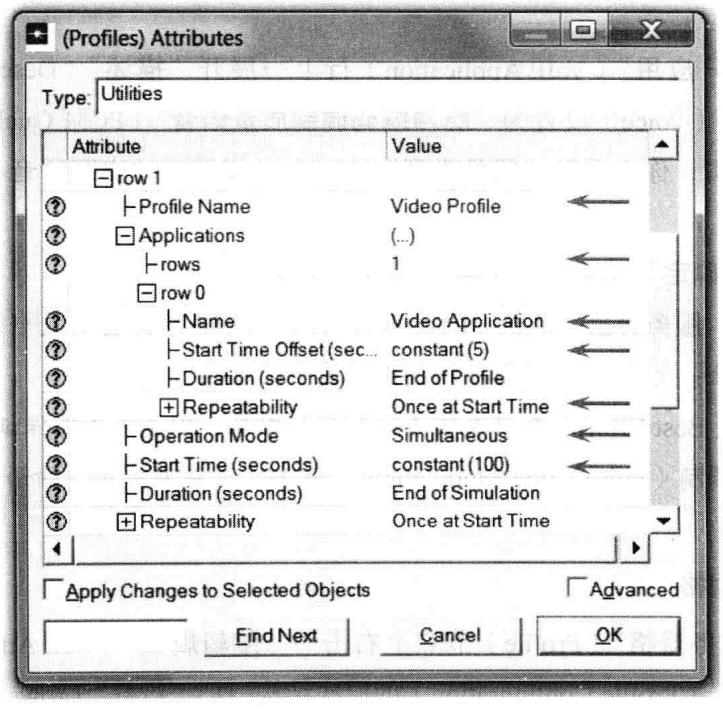
配置业务规格

1）在“**业务规格**”（Profile）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**业务规格配置**”（Profile Configuration）的层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 3。

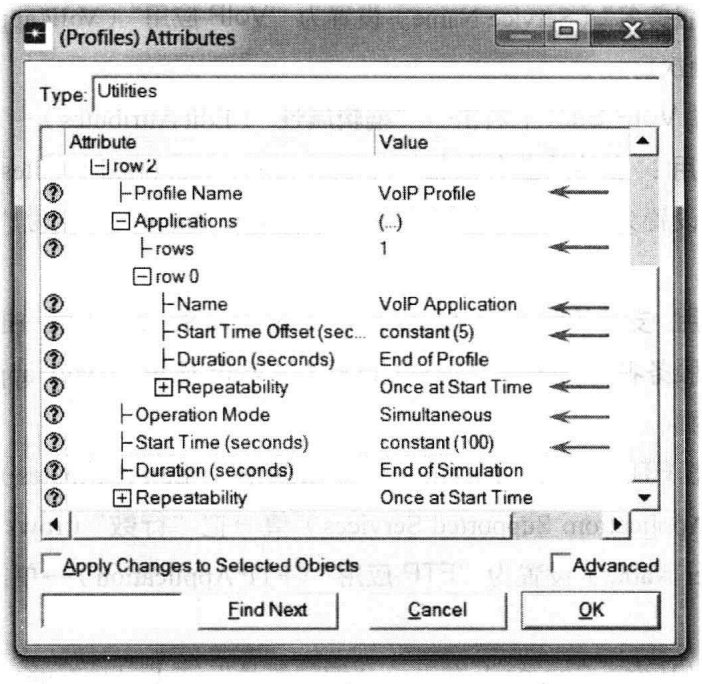
2）如下图所示，为“**第 0 行**”（row 0）重新命名并且设置属性。



3）如下图所示，为“**第 1 行**”（row 1）重新命名并且设置属性。



4）如下图所示，为“**第 2 行**”（row 2）重新命名并且设置属性。



5）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

配置队列

我们将保存在**队列**（Queues）对象中定义的默认队列规格，建议检查一下 FIFO、PQ、WFQ 业务规格的配置。

配置工作站和服务器

1）在客户端 FTP Client 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profiles）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**业务规格名**”（Profile Name）设置为“**FTP 业务规格**”（FTP Profile）→单击“**确定**”（OK）。

2）在客户端 Video Client 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profiles）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**业务规格名称**”（Profile Name）设置为“**视频业务规格**”（Video Profile）→单击“**确定**”（OK）。

3）在客户端 VoIP West 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

a. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profiles）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**业务规格名**”（Profile Name）设置为“**VoIP 业务规格**”（VoIP Profile）。

b. 编辑“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）值→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**服务名**”（Service Name）设置为“**VoIP 应用**”（VoIP application）→单击“**确定**”（OK）两次。

4）在客户端 VoIP East 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

a. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profiles）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**业务规格名**”（Profile Name）设置为“**VoIP 业务规格**”（VoIP Profile）。

b. 编辑“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）值→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**服务名**”（Service Name）设置为“**VoIP 应用**”（VoIP application）→单击“**确定**”（OK）两次。

5）在服务器 FTP Server 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→编辑“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）值→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**服务名**”（Server Name）设置为“**FTP 应用**”（FTP Application）→单击“**确定**”（OK）两次。

6）在服务器 Video Server 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→编辑“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）值→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**服务名**”（Server Name）设置为“**Video 应用**”（Video application）→单击“**确定**”（OK）两次。

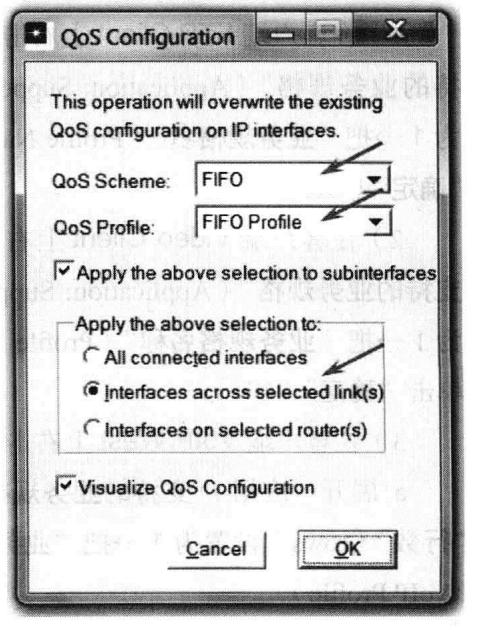
7）“**保存**”（Save）工程。

配置路由器

1）单击选择连接路由器 East Router 和 West Router 的链路→从“**协议**”（Protocols）菜单中选择 IP →“**服务质量**”（QoS）→“**配置服务质量**”（Configure QoS）。

2）如右图所示，确保已经选择了“**服务质量配置**”（QoS Configure）对话框中的项→单击“**确定**”（OK）。

注：因为已选中“**可视化服务质量配置**”（Visualize QoS Configuration）单选按钮，链路标记的颜色是由已使用的服务质量（QoS）方案来决定的（FIFO 是蓝色的）。



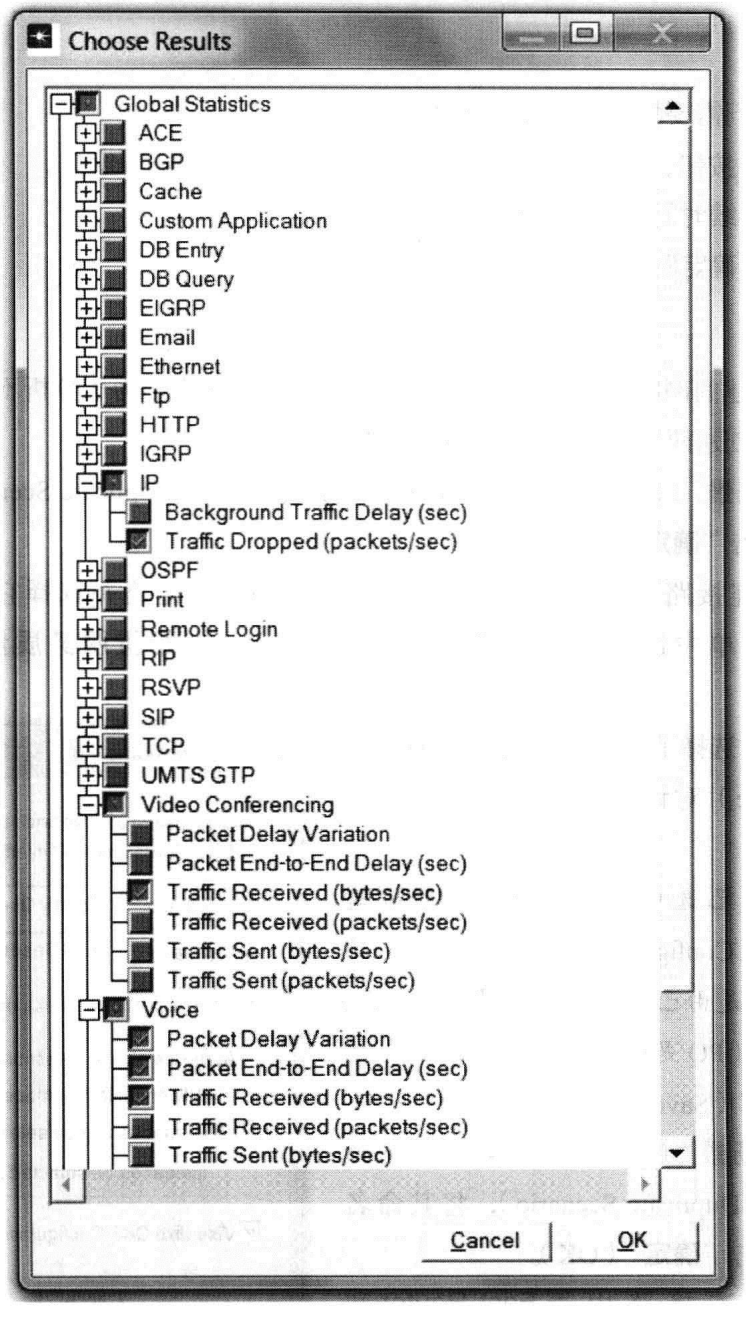
3）“**保存**”（Save）工程。

选择统计量

为了检测网络中定义的应用的性能，将按如下步骤收集一些统计量：

1）在工程工作区的任一地方右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，选择以下全局统计量：



3）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示　丢弃的流量（Traffic Dropped）：网络中所有节点的所有接口丢弃的 IP 数据报的数目。丢弃 IP 数据报的原因有：

- 队列中空间不足。
- IP 数据包超过了最大跳数限制。
- 在没有路由的节点中，可用做下一跳的本地路由接口没有找到。
- 在路由节点中，路由查找没有生成到达目的地的路由。

配置仿真

现在，我们需要配置仿真的持续时间：

1）单击按钮，出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 150 秒。

3）单击“**确定**”（OK）。

复制场景

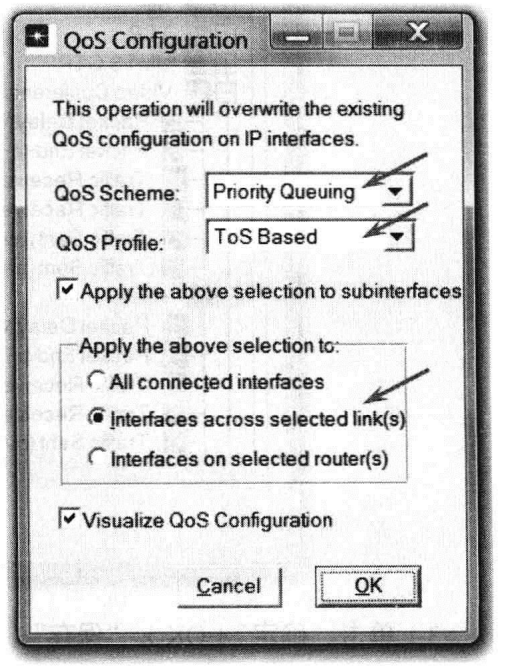
在刚刚创建的网络中，路由器中使用了 FIFO 排队准则。为了分析不同排队准则的影响，我们将创建两个场景来测试 PQ 和 WFQ 准则。

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 PQ →单击“**确定**”（OK）。

2）单击连接路由器 East Router 和 West Router 的链路并选择它→从“**协议**”（Protocols）菜单中选择 IP →“**服务质量**”（QoS）→“**配置服务质量**”（Configure QoS）。

3）确保已选择了右侧的“**服务质量配置**”（QoS Configure）对话框中显示的项→单击“**确定**”（OK）。

注：因为已选中**可视化服务质量配置**（Visualize QoS Configuration）单选按钮，链路标记的颜色是由已使用的**服务质量**（QoS）方案来决定的（PQ 是橙色的）。



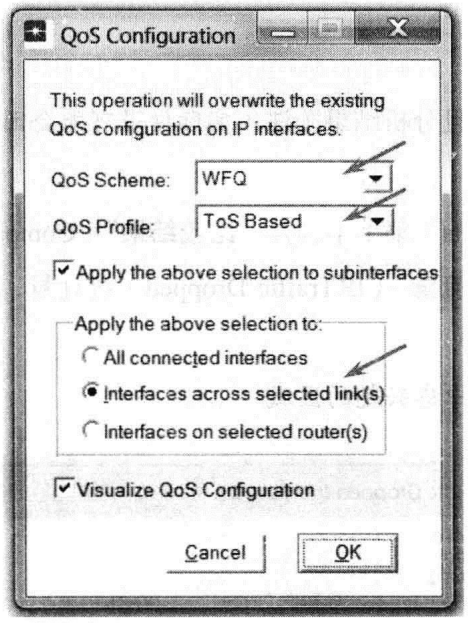
4）“**保存**”（Save）工程。

5）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 WFQ →单击“**确定**”（OK）。

6）单击连接路由器 East Router 和 West Router 的链路并选择它→从“**协议**”

（Protocols）菜单中选择 IP →“**服务质量**”（QoS）→“**配置服务质量**”（Configure QoS）。

7）确保已选择下面的“**服务质量配置**”（QoS Configure）对话框中显示的项→单击“**确定**”（OK）。



注：因为已选中**可视化服务质量配置**（Visualize QoS Configuration）单选按钮，所以链路标记的颜色是由已使用的服务质量（QoS）方案来决定的（WFQ 是绿色的）。

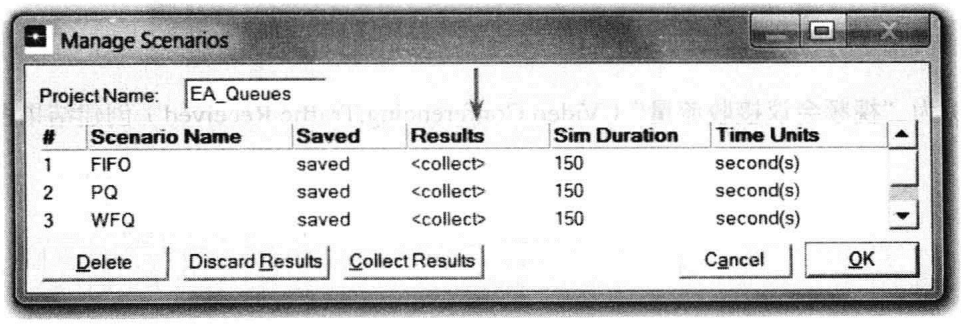
8）“**保存**”（Save）工程。

运行仿真

请按以下步骤同时运行 3 个场景的仿真：

1）单击“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）把 3 个场景中“**结果**”（Results）栏中的值改为 <collect>（或者 <recollect>）。与下图进行比较。



3）单击“**确定**”（OK），运行 3 个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

4）3 个仿真运行完毕后，“**关闭**”（Close）每一个仿真。

5）“**保存**”（Save）工程。

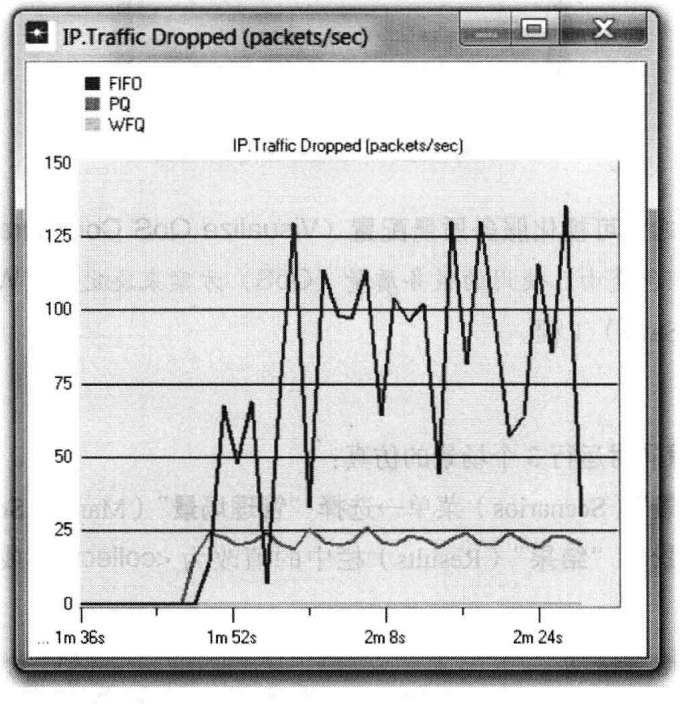
观察结果

请按以下步骤查看并且分析结果（**注：**实际结果可能会因为工程中节点实际位置的不同而轻微变化）。

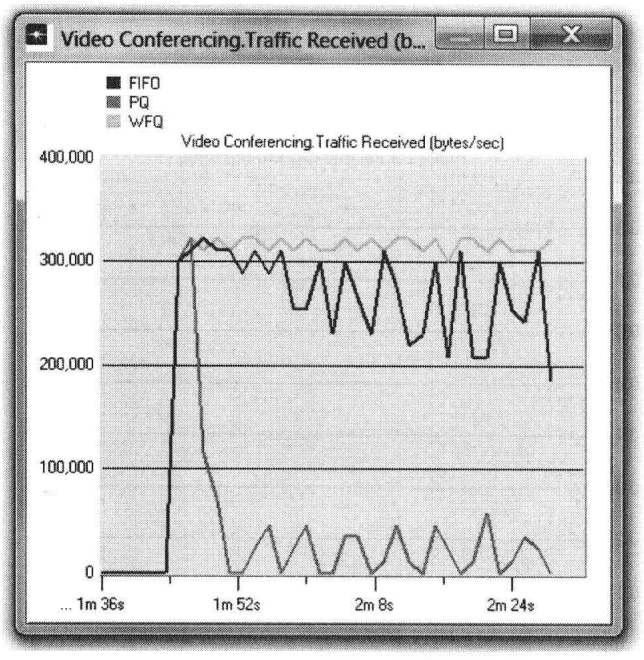
1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

2）选择“**丢弃的 IP 流量**”（IP.Traffic Dropped）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮。结果图如下图所示。

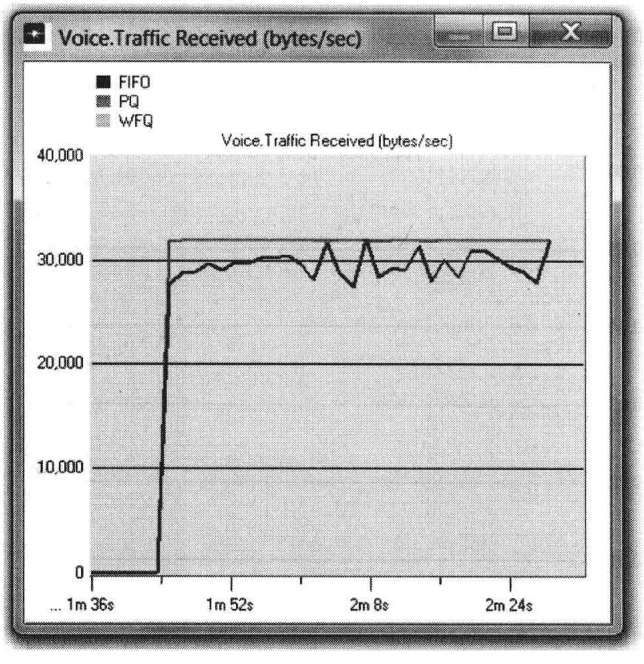
注：下图放大了原图中感兴趣的区域。



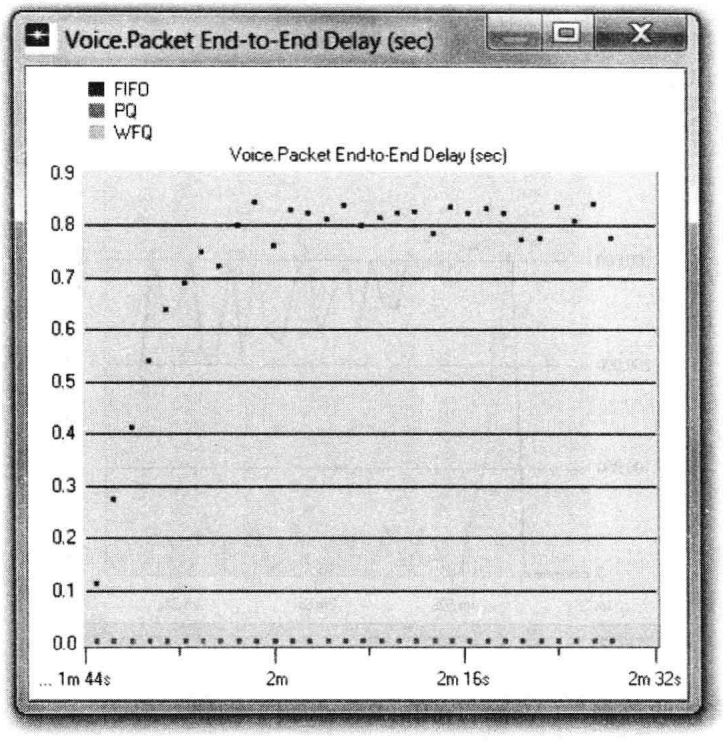
3）为“**视频会议接收流量**”（Video Conferencing.Traffic Received）创建结果图。

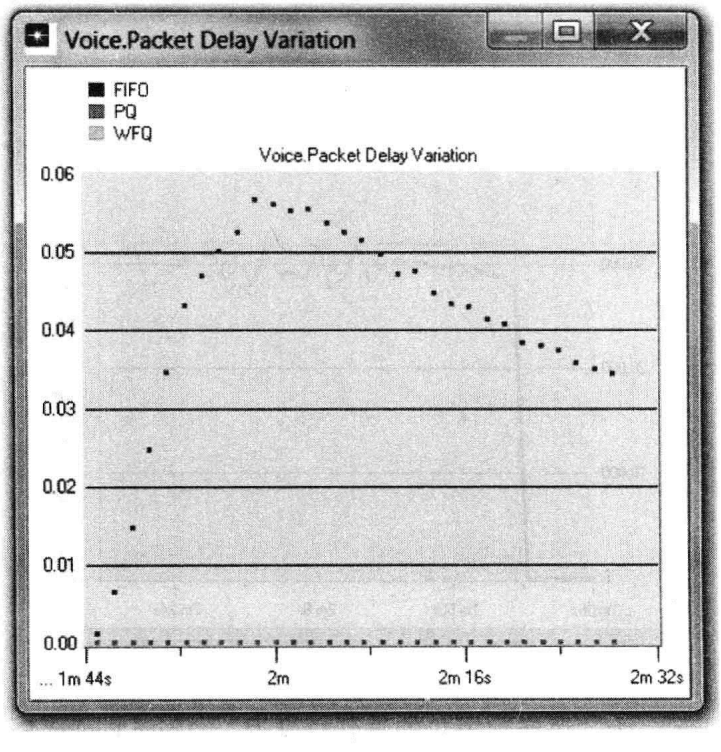


4）为“**语音接收流量**”（Voice.Traffic Received）创建结果图。



5）如下图所示，为“**语音数据包的端到端延迟**”（Voice.Packet End-to-End Delay）和“**语音数据包的延迟抖动**”（Voice.Packet Delay Variation）创建结果图（**注**：WFQ 的情况并没有在下图中显示出来，因为它与 PQ 的情况重叠了）。





进一步阅读

区分服务域：IETF RFC 2474（www.ietf.org/rfc.html）。

练习

1. 分析我们获取的**语音数据包的端到端延迟**（Voice.Packet End-to-End Delay）和**语音数据包的延迟抖动**（Voice.Packet Delay Variation）重叠图。比较 3 种排队准则，解释它们对于 3 个应用性能产生的影响。
2. 在已建好的工程中，编辑**队列**（Queues）对象，选中为 FIFO、PQ、WFQ 设置的业务规格。对于每一个业务规格，回答以下问题：
   a. 与每个排队准则相关联的队列有多少个？
   b. 在本实验中，使用**服务类型**（ToS）分别识别 PQ、WFQ 的优先级和权值。还有哪些参数可以用来识别优先级和权值？
   c. 在 PQ 中，如何配置队列来为不同的服务类型（ToS）进行服务？
   d. 在 WFQ 中，如何配置队列来为不同的服务类型（ToS）进行服务？
3. 对于所有的场景，为连接路由器 East Router 和 West Router 的链路选择“**队列延迟**”（queuing delay）<-- 统计量。重新运行仿真，生成结果图，比较分析所有队列准则（场景）下的队列延迟。

   提示：“队列延迟”（queuing delay）<-- 统计量在点到点（Point-to-Point）层次结构中。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

资源预留协议

在网络中通过预留资源提供服务质量

实验目的

本实验的目的是研究资源预留协议（Resource Reservation Protocol，RSVP），它作为集成服务方法的一部分，为单个应用或流提供服务质量（Quality of Service，QoS）。

实验概览

多年来，分组交换网络都承诺支持结合音频、视频和数据的多媒体应用，其中音频和视频应用是典型的实时应用。在尽力而为模型（best-effort）中，网络尽力传输数据，但并不保证可靠交付，把剩下的工作留给端系统去解决。这个模型对于实时应用来说是不够的。我们需要一种新的服务模型，在这个模型中应用可以向网络请求更好的服务，而网络也可以回应它能够保证更好的服务或者宣称它现在不能提供任何更好的服务保证。能够提供不同服务水平的网络，通常称为支持服务质量。

人们开发了两种提供 QoS 的方法：集成服务（integrated services）和区分服务（differentiated services）。资源预留协议（RSVP）遵从集成服务方法，为单个应用或者流提供服务质量。区分服务方法为大型数据类或者聚合流提供服务质量。

尽管面向连接的网络通常需要某类协议在路由器中建立必需的虚拟电路状态，而像因特网这样的无连接网络则不需要这些协议。RSVP 存在的关键假设之一是：它不应该削弱因特网的健壮性。因此，RSVP 采用路由器软状态的思想。相对于在面向连接的网络中建立的硬状态来说，软状态在不再需要时并不会显式地删除。相反，如果一个软状态在相当短的周期内未刷新，则该软状态就会过期。RSVP 采用面向接收方的方法，接收方记录自己的资源需求，然后定期地发送刷新消息以保持软状态有效。

在本实验中，你将建立一个承载实时应用的网络，并利用 RSVP 为其中的一个应用提供服务质量。你将研究使用 RSVP 对应用的性能有何贡献。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 6.5.2 节。

💻 访问 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

- TCP 流量控制（TCP Flow Control）。

实验步骤

创建新工程

1）启动“OPNET IT Guru **学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 从菜单中选择“**打开**”（Open）。

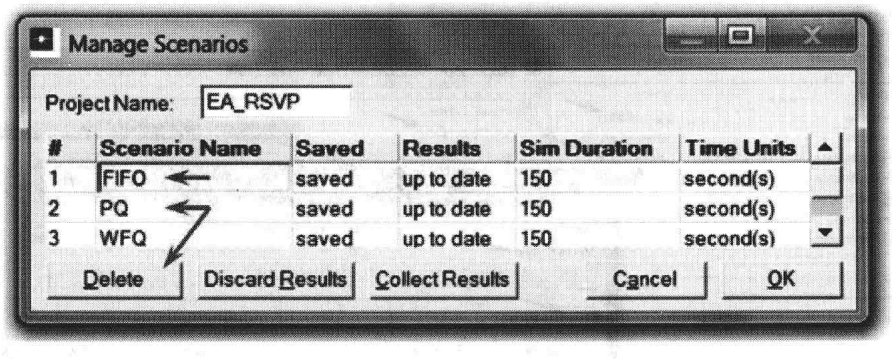
2）选择在实验十一中创建的工程：<your initials >_Queues →单击“**确定**”（OK）。

3）在“**文件**”（File）菜单中，选择“**另存为**”（Save As）→把工程重新命名为 <your initials _RSVP →单击“**确定**”（OK）。

4）在“**场景**”（Scenarios）菜单中，选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）→单击“**先进先出**”（FIFO）→单击“**删除**”（Delete）→单击“**优先队列**”（PQ）→单击“**删除**”（Delete）。

5）单击“**加权公平排队**”（WFQ），把它重新命名为 QoS_RSVP →单击“**确定**”（OK）。

6）确保工程中只有 QoS_RSVP 场景。下图显示了一种用来检查工程中可用场景的方法。



7）“**保存**”（Save）工程。

有益提示　公平队列（FQ）准则的思想是：为路由器当前正在处理的每个流维持一个单独的队列，然后路由器为这些队列轮流进行服务。

加权公平队列（WFQ）给每个流（队列）分配一个权值，该权值有效地控制了分配给每个流的链路带宽的比例。我们可以使用 IP 头中的 ToS 位对权值进行标识。

配置网络

再添加一些 VoIP 节点

在这个工程中，我们将设置两个 VoIP 节点，一个总是作为“**呼叫方**”（Caller），另

一个作为“**被叫方**”（Called）。除此之外，我们再添加两个新的 VoIP 呼叫方和被叫方节点。这些新节点用 RSVP 协议通过网络来预留它们所需要的资源。

1）在 **VoIP East** 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）→把节点重新命名为“**语音被叫方**”（Voice Called）→把“**应用：支持的业务规格**”（Application：Supported Profiles）属性设置为“**无**”（None）→把“**客户端地址**”（Client Address）属性设置为“**语音被叫方**”（Voice Called）→单击“**确定**”（OK）。

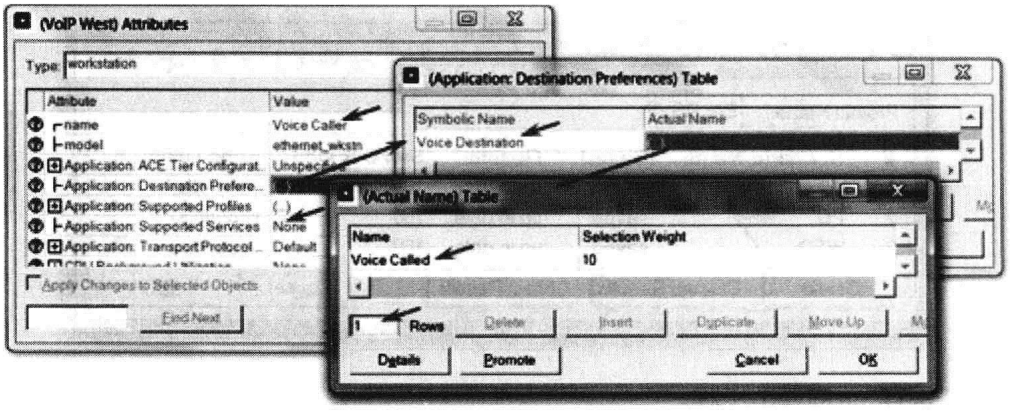
2）在 **VoIP West** 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）。

a. 把节点重新命名为“**语音呼叫方**”（Voice Caller）。

b. 把“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Servers）属性设置为“**无**”（None）。

c. 编辑“**应用：目的地偏好**”（Application: Destination Preferences）属性→把“**行数**”（rows）设置为 1→把新行的“**符号名称**”（Symbolic Name）设置为“**语音目的地**”（Voice Destination）→编辑“**实际名称**”（Actual Name）属性→把“**行数**”（rows）设置为 1→如下图所示，把新行的“**名称**”（Name）属性设置为“**语音被叫方**”（Voice Called）。

3）单击“**确定**”（OK）3 次，“**保存**”（Save）工程。



4）单击选择的“**语音被叫方**”（Voice Called）节点→从“**编辑**”（Edit）菜单中，选择“**复制**”（Copy）→从“**编辑**”（Edit）菜单中，选择“**粘贴**”（Paste）（或者使用快捷键，**Ctrl+C** 和 **Ctrl+V**）

a. 在“**语音被叫方**”（Voice Called）节点下方定位新节点→使用 **10BaseT** 链路把新节点与路由器 **East Router** 相连接。

b. 单击新节点→“**编辑属性**”（Edit Attribute）。

c. 单击“**模型**”（model）属性的“**以太网工作站**”（ethernet_wkstn）值→选择“**编辑**”（Edit）→选择“**高级以太网工作站**”（ethernet_wkstn_adv）模型。

d. 把它重新命名为“**RSVP 语音被叫方**”（Voice_RSVP Called）→把“**客户端地址**”（Client Address）属性设置为“**RSVP 语音被叫方**”（Voice_RSVP Called）。

e. 单击“**确定**”（OK）。

5）复制并粘贴“**语音呼叫方**”（Voice Caller）节点：

a. 在“**语音呼叫方**”（Voice Caller）节点下方定位新节点→使用 10BaseT 链路把新节点与路由器 West Router 相连接。

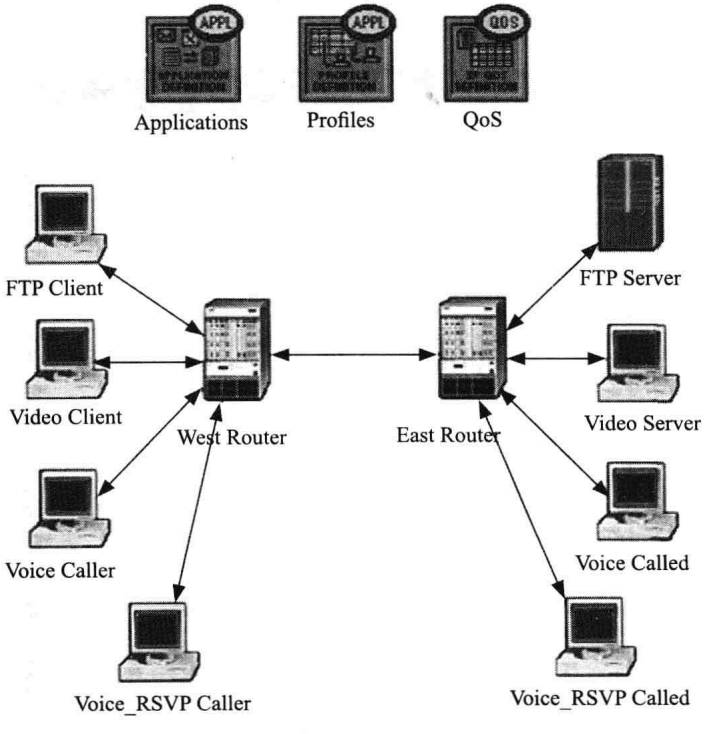
b. 在新节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）→单击“**模型**”（model）属性的“**以太网工作站**”（ethernet_wkstn）值→选择“**编辑**”（Edit）→选择“**高级以太网工作站**”（ethernet_wkstn_adv）模型。

c. 把它重新命名为“**RSVP 语音呼叫方**”（Voice_RSVP Caller）。

d. 编辑“**应用：目的地偏好**”（Application：Destination Preferences）属性→单击“**实际名称**”（Actual Name）值域，打开“**实际名称**”（Actual Name）表→把“**名称**”（Name）属性设置为“**RSVP 语音被叫方**”（Voice_RSVP Called）（这么做是为了重新代替当前值，即“**语音被叫方**”（Voice Called）。）

e. 单击“**确定**”（OK）3 次。

6）把工程中的“**队列**”（Queues）节点重命名为“**服务质量**”（QoS）。你的工程应与下图相同。



7）“**保存**”（Save）工程。

定义数据流

现在，我们来定义网络中语音流量的数据流特征。

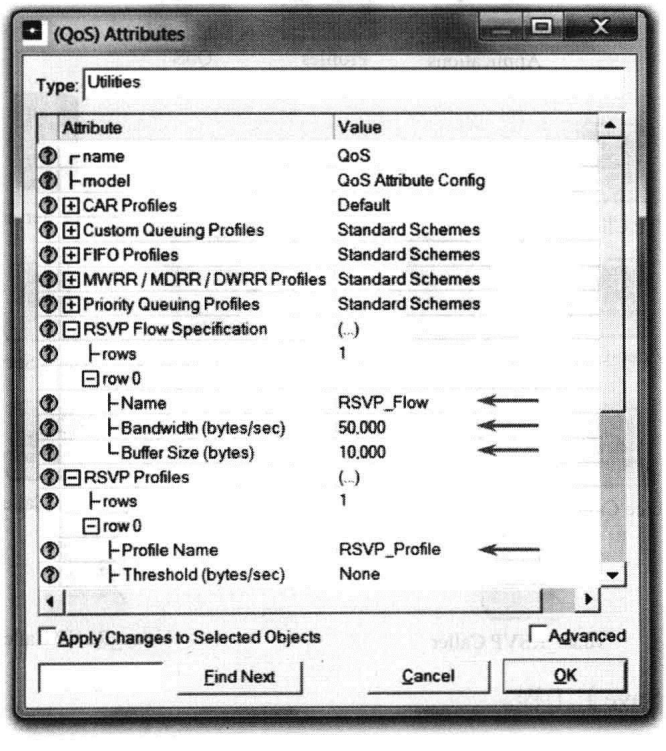
发送方的 RSVP 模块定期地发送 RSVP 路径（RSVP Path）消息，Path 消息使用数据流特征来描述发送方产生的流量。当接受方的 RSVP 模块接收到 Path 消息时，接收方主机应用程序检查所请求的数据流特征，决定是否预留资源。一旦做出决定，接收方主机应用程序向主机 RSVP 模块发送请求，协助建立预留。然后，接收方的 RSVP 模块把请求作为资源预留（Resv）消息带给去往发送方的反向数据路径上的所有节点。

流是由请求的带宽和缓冲区大小所定义的。在 Path 消息和 Resv 消息的流规格中，带宽设置为**令牌桶率**（token bucket rate）。缓冲区大小表示将缓冲的应用突发数据的总量，缓冲区大小为会话指定了在 Path 或者 RSVP 消息中设置的**令牌桶**（token bucket）大小。

在“**服务质量**”（QoS）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）：

a. 展开“**RSVP 流规格**”（RSVP Flow Specification）层次结构和“**第 0 行**”（row 0）层次结构→把“**名称**”（Name）设置为“**RSVP 流**”（RSVP_Flow）→把“**带宽（字节/秒）**”（Bandwidth(bytes/sec)）属性设置为 50 000 →把“**缓冲区大小（字节）**”（Buffer Size(bytes)）属性设置为 10 000。

b. 展开“**RSVP 业务规格**”（RSVP Profiles）层次结构和“**第 0 行**”（row 0）层次结构→把“**业务规格名称**”（Profile Name）设置为“**RSVP 业务规格**”（RSVP_Profile）→单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。



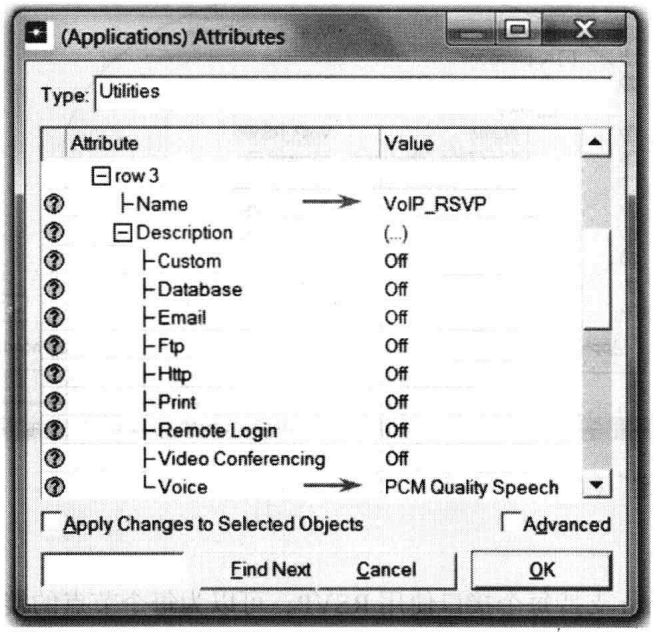
有益提示　**RSVP 流**（RSVP Flow）定义了 RSVP 试图预留的流量需求（带宽和所请求的缓冲区大小）。

配置应用

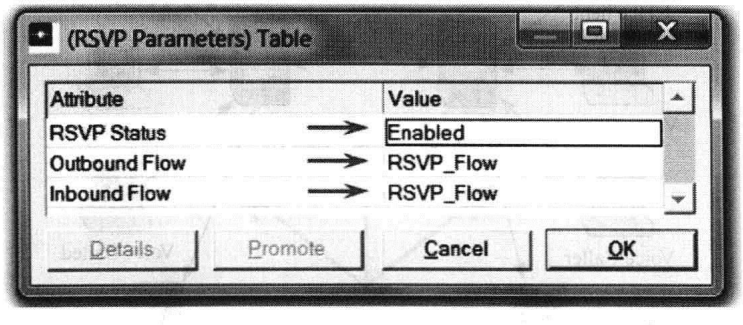
现在创建一个 VoIP 应用，它使用刚刚我们所创建的 RSVP 流规格。

在“**应用**”（Applications）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）→展开“**应用定义**”（Application Definitions）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 4（在“**应用定义**”（Application Definitions）属性上添加了第 3 行）。

a. 如下图所示，为第 3 行命名且设置属性。



b. 单击“**脉冲编码调制语音质量**”（PCM Voice Quality）值（显示在前面的图中）→选择“**编辑**”（Edit）→编辑“**RSVP 参数**”（RSVP Parameters）属性值→设置下列值（我们在服务质量（QoS）节点中定义的“**RSVP 流**”（RSVP_Flow））→单击“**确定**”（OK）3 次。

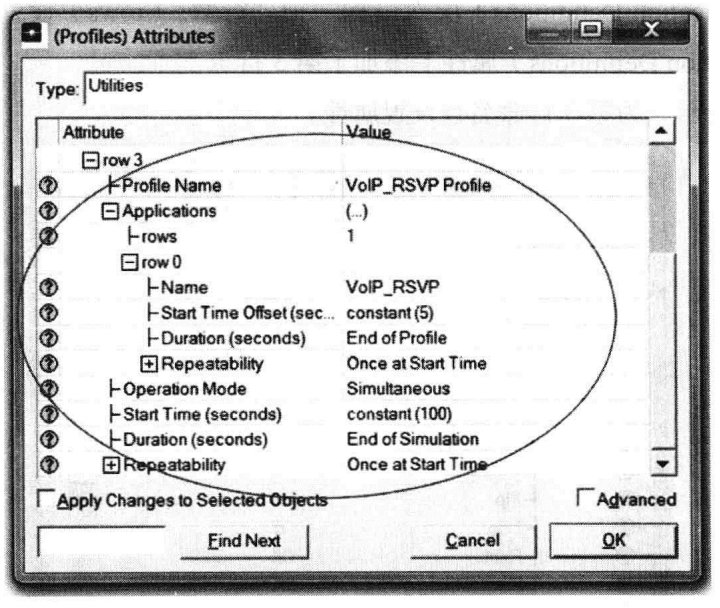


注：Path 消息中有从发送方发送给接收方的**出流**（Outbound Flow）的特征，Resv

消息中有从接收方发送给发送方的**入流**（Inbound Flow）的特征。

配置业务规格

1）在“**业务规格**”（Profiles）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）→展开“**业务规格配置**”（Profiles Configuration）的层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 4→如下图所示，为“**第 0 行**”（row 0）命名并且设置属性。

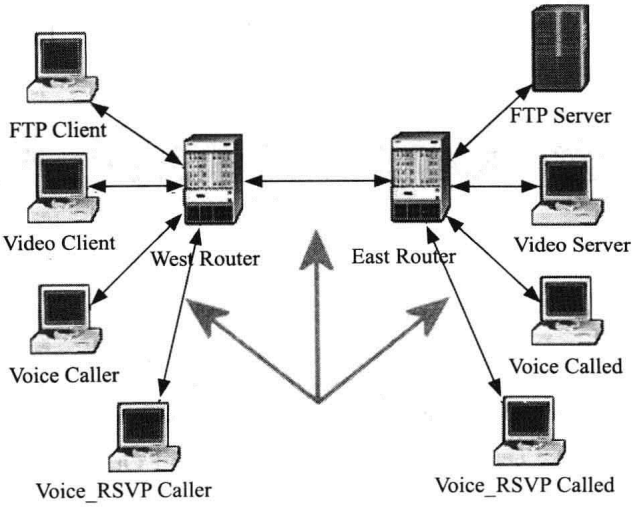


2）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

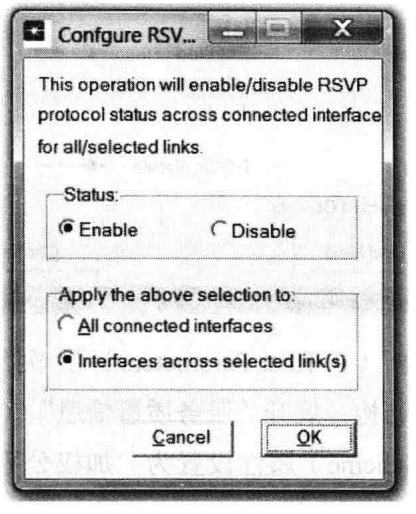
配置接口

OPNET IT Guru 支持每个接口使用 RSVP，可以为每个节点的接口设置 RSVP 有效或无效。

1）同时选择（按住 **Shift 键**，单击）如下图所示的 3 个链路。



2）从“**协议**”（Protocols）菜单中，选择 **RSVP** →选择“**配置接口状态**”（Configure Interface Status）→确保选择了如下图所述的“**配置**”（Configure）对话框中的项→单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。



对于两个需要使用 RSVP 的语音节点来说，上述过程使它们之间路径上的所有接口的 RSVP 有效。

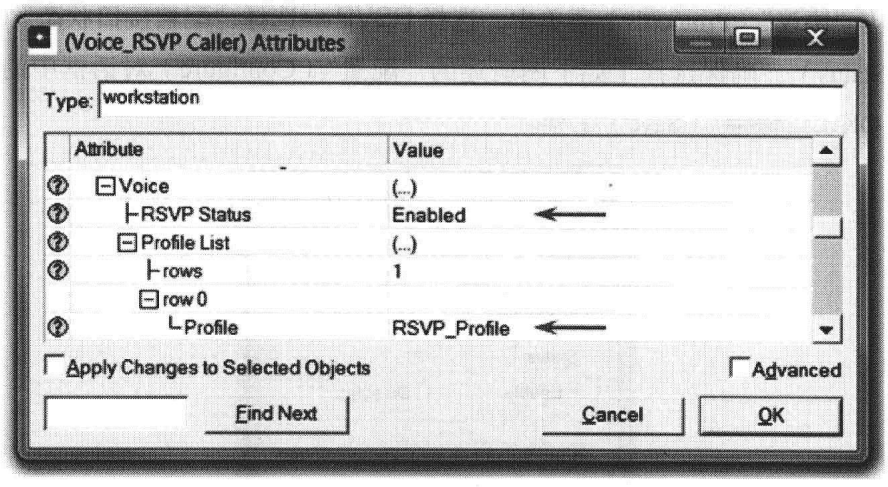
配置主机和路由器

在 OPNET IT Guru 中，RSVP 进程仅运行在基于 IP 的节点上。正如我们已经做的那样，必须使用那些节点模型的高级版本（*_adv）来配置与 RSVP 相关的参数。除此之外，OPNET IT Guru 中的 RSVP 模型要么需要加权公平排队（WFQ）方案，要么需要用户自定义的排队方案。

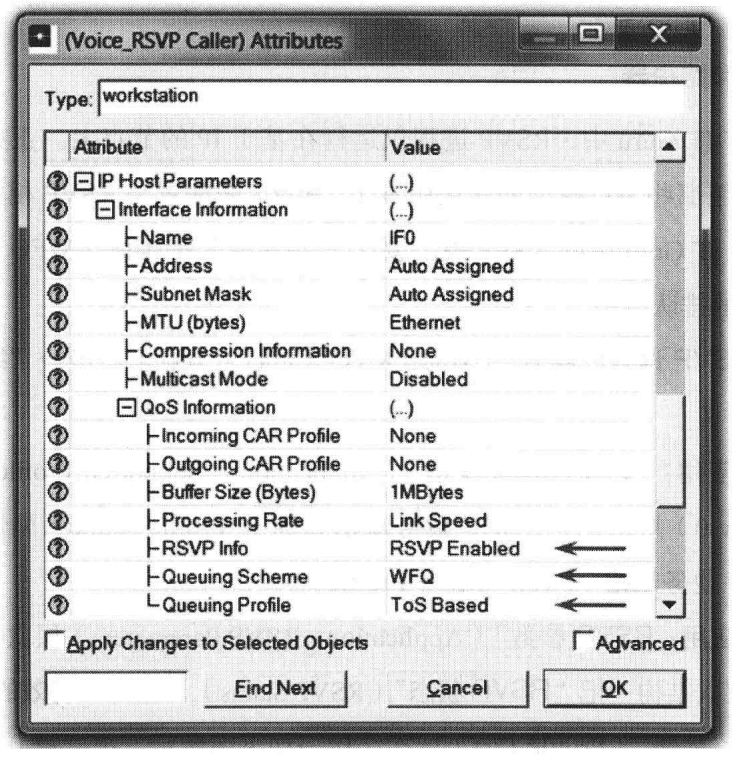
1）在“**RSVP 语音呼叫方**”（Voice_RSVP Caller）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）。

a. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Application：Supported Profiles）层次结构和“**第 0 行**”（row 0）层次结构→把“**业务规格名称**”（Profile Name）属性设置为“**支持 RSVP 的 VoIP 业务规格**”（VoIP_RSVP Profile）。

b. 展开“**应用：RSVP 参数**”（Application：RSVP Parameters）层次结构→展开“**语音**”（Voice）层次结构→把“**RSVP 状态**”（RSVP Status）设置为“**有效的**”（Enabled）→展开“**业务规格列表**”（Profile List）层次结构→如下图所示，把“**第 0 行**”（row 0）的“**业务规格**”（Profile）属性设置为“**RSVP 业务规格**”（RSVP_Profile）。

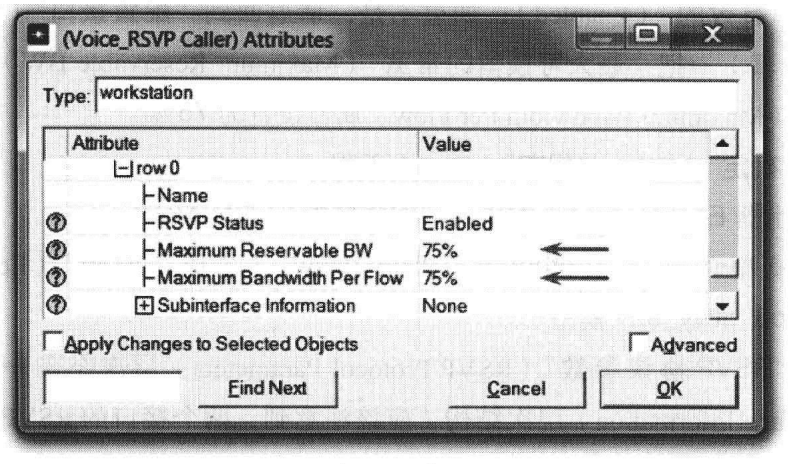


c. 展开“**IP 主机参数**”（IP Host Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构→展开“**服务质量信息**”（QoS Information）层次结构→把“**排队方案**”（Queuing Scheme）属性设置为“**加权公平排队**”（WFQ）→把“**排队业务规格**”（Queuing Profile）属性设置为“**基于服务类型**”（ToS Based）→如下图所示，把“**RSVP 信息**”（RSVP Info）属性设置为“**RSVP 有效的**”（RSVP Enabled）。



d. 展开“**RSVP 协议参数**”（RSVP Protocol Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构（当展开它时，将会看到这里有“**RSVP 状**

态”（RSVP Status）值。如果列表中没有“**有效的**”（Enabled），则返回到“**配置接口**”（Configure the Interfaces）步骤。）→展开接口行的层次结构→把“**最大可预留的带宽**”（Maximum Reservable BW）和“**每个流的最大带宽**”（Maximum Bandwidth Per Flow）属性设置为75%。



e. 单击“**确定**”（OK）。

有益提示　**服务类型**（Type of Service，ToS）在IP数据包格式中可以设置。它表示一种会话属性：允许IP队列为数据包提供适当的服务。

最大可预留的带宽（Maximum Reservable BW）指定了在接口上可预留的带宽占连接链路总带宽的百分比。

每个流的最大带宽（Maximum Bandwidth Per Flow）指定了可预留给单个流的带宽总量。

2）在“**RSVP语音被叫方**”（Voice_RSVP Called）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attribute）。

a. 编辑“**应用：支持的服务**”（Application：Supported Services）属性，将会弹出“**应用：支持的服务表**”（Application: Supported Services Table）→在表中，使用“**支持RSVP的VOIP**”（VoIP_RSVP）代替“**VoIP应用**”（VoIP Application），单击“**确定**”（OK）。

b. 展开“**应用：RSVP参数**”（Application: RSVP Parameters）层次结构→展开“**语音**”（Voice）层次结构→把“**RSVP状态**”（RSVP Status）设置为“**有效的**”（Enabled）→展开“**业务规格列表**”（Profile List）层次结构→编辑“**第0行**”（row 0）的“**业务规格**”（Profile）属性值，设置为“**RSVP业务规格**”（RSVP_Profile）。

c. 展开“**IP主机参数**”（IP Host Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构→展开“**服务质量信息**”（QoS Information）层次结构→把“**排队方案**”（Queuing Scheme）属性设置为“**加权公平队列**”（WFQ）→把

“**排队业务规格**”（Queuing Profile）属性设置为“**基于服务类型**”（ToS Based）→把“**RSVP 信息**”（RSVP Info）属性设置为“**RSVP 有效的**”（RSVP Enabled）。

d. 展开“**RSVP 协议参数**”（RSVP Protocol Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构（应该注意到，与路由器连接的接口的 RSVP 状态设置成了“**有效的**”（Enabled）；如果不是，请返回到“**配置接口**”（Configure the Interfaces）步骤）→把“**最大可预留的带宽**”（Maximum Reservable BW）和“**每个流的最大带宽**”（Maximum Bandwidth Per Flow）属性设置为 75%。

e. 单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

3）在路由器 East Router 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

a. 单击模型的属性值 ethernet4_slip8_gtwy →选择“**编辑**”（Edit）→选择 ethernet4_slip8_gtwy_adv 模型。

b. 展开“**RSVP 协议参数**”（RSVP Protocol Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构（应该注意到，两个接口的 RSVP 状态设置成了“**有效的**”（Enabled），这两个接口连接了路由器 West Router 和“**RSVP 语音被叫方**”（Voice_RSVP Called）节点；如果不是，请返回到“**配置接口**”（Configure the Interfaces）步骤。）→展开这两个“**有效的**”接口的行的层次结构→把“**最大可预留的带宽**”（Maximum Reservable BW）和“**每个流的最大带宽**”（Maximum Bandwidth Per Flow）属性设置为 75%。

c. 展开“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构→展开在前面步骤（步骤 b）中配置的两个接口的行的层次结构→展开它们的“**服务质量信息**”（QoS Information）层次结构→把它们的“**排队方案**”（Queuing Scheme）设置为“**加权公平队列**”（WFQ），把“**排队业务规格**”（Queuing Profiles）设置为“**基于服务类型**”（ToS Based）。

d. 单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

4）在路由器 West Router 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

a. 单击模型的属性值 ethernet4_slip8_gtwy →选择“**编辑**”（Edit）→选择 ethernet4_slip8_gtwy_adv 模型。

b. 展开“**RSVP 协议参数**”（RSVP Protocol Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构。（应该注意到两个接口的 RSVP 状态都设置为“**有效的**”（Enabled），这两个接口连接了路由器 East Router 和“**RSVP 语音呼叫方**”（Voice_RSVP Caller）节点；如果不是，请返回到“**配置接口**”（Configure the Interfaces）步骤。）→展开这两个有效接口的行的层次结构→把“**最大可预留的带宽**”（Maximum

Reservable BW）和“**每个流的最大带宽**”（Maximum Bandwidth Per Flow）属性设置为75%。

c. 展开“**IP 路由参数**”（IP Routing Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构→展开在前面步骤（步骤 b）中配置的两个接口的行的层次结构→展开它们的“**服务质量信息**”（QoS Information）层次结构→把它们的“**排队策略**”（Queuing Scheme）设置为“**加权公平队列**”（WFQ），把“**排队业务规格**”（Queuing Profiles）设置为“**基于服务类型**”（ToS Based）。

d. 单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

选择统计量

我们将从 3 个不同的节点上选择统计量。

RSVP 语音呼叫方（Voice_RSVP Caller）统计量

1）在“**RSVP 语音呼叫方**”（Voice_RSVP Caller）节点上右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）展开 RSVP 层次结构，选择“**路径状态数量**”（Number of Path Status）。

3）在“**路径状态数**”（Number of Path Status）统计量上右击 →从弹出菜单中选择“**改变绘图风格**”（Change Draw Style）→选择“**条形图**”（bar chart）。

4）在“**路径状态数**”（Number of Path Status）统计量上右击 →从弹出菜单中选择“**改变收集模式**”（Change Collection Mode）→选中“**高级**”（Advanced）复选框→从下拉菜单中，把“**捕捉模式**”（Capture mode）设置为“**所有值**”（all values）→单击“**确定**”（OK）。

5）展开“**语音呼叫活动**”（Voice Calling Party）层次结构，选择以下统计量：“**数据包延迟抖动**”（Packet Delay Variation）和“**数据包端到端延迟（秒）**”（Packet End-to-End Delay(sec)）。

6）单击“**确定**”（OK）。

RSVP 语音被叫方（Voice_RSVP Called ）统计量

1）在“**RSVP 语音被叫方**”（Voice_RSVP Called）节点上右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）展开 RSVP 层次结构，选择“**资源预留状态数 **”（Number of Resv Status）。

3）在“**资源预留状态数 **”（Number of Resv Status）统计量上右击→从弹出菜单中选择“**改变绘图风格**”（Change Draw Style）→选择“**条形图**”（bar chart）。

4）在“**资源预留状态数量**”（Number of Resv Status）统计量上右击 → 从弹出菜单中选择“**改变收集模式**”（Change Collection Mode）→选中“**高级**”（Advanced）复选框→

从下拉菜单中，把“**捕捉模式**”（Capture mode）设置为“**所有值**”（all values）→单击“**确定**”（OK）两次。

语音呼叫方（Voice Caller）统计量

1）在“**语音呼叫方**”（Voice Caller）节点上右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）展开“**语音呼叫活动**”（Voice Calling Party）层次结构，选择以下统计量：“**数据包延迟抖动**”（Packet Delay Variation）和“**数据包端到端延迟（秒）**”（Packet End-to-End Delay(sec)）→单击“**确定**”（OK）。

有益提示　数据包延迟抖动（Packet Delay Variation）是节点接收到的语音数据包端到端延迟的方差。

语音数据包的**数据包端到端延迟（秒）**（Packet End-to-End Delay(sec)）是按创建数据包到接收数据包的时间来计算的。

配置仿真

现在，我们需要配置仿真的持续时间：

1）单击按钮，出现“**配置仿真**”（Configure Simulation）窗口。

2）确保把“**持续时间**”（duration）设置为 **150 秒**。

3）单击“**全局属性**”（Global Attributes）标签，确保把以下属性设置为有效：

RSVP Sim Efficiency =Enabled。这样就不发送刷新信息（即 Path 和 Resv 信息的更新），可以减少仿真时间和内存需求。

4）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

运行仿真

请按以下步骤运行仿真：

1）单击按钮，然后单击“**运行**”（Run）按钮。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

2）仿真运行完毕后，“**关闭**”（Close）仿真，“**保存**”（Save）工程。

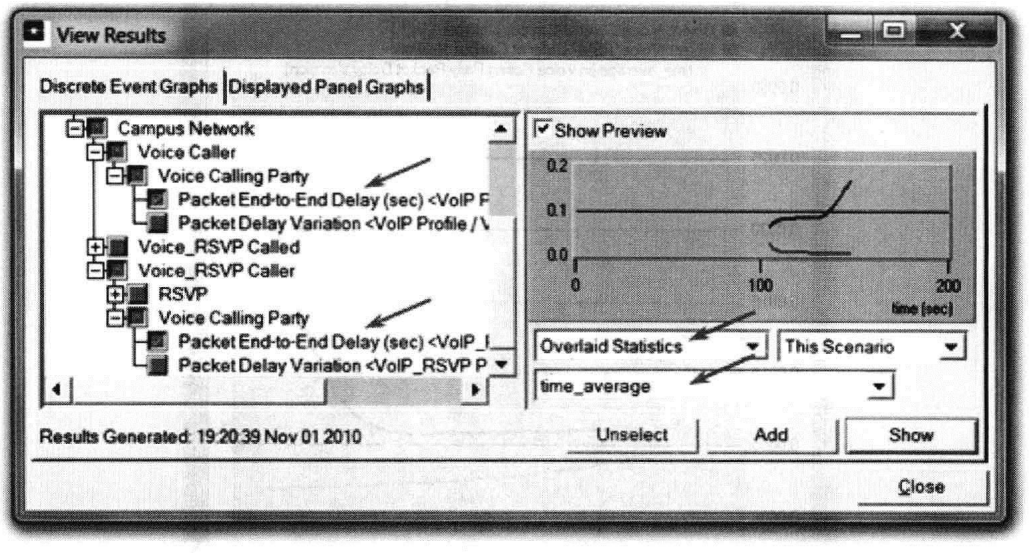
观察结果

按以下步骤查看并且分析结果：

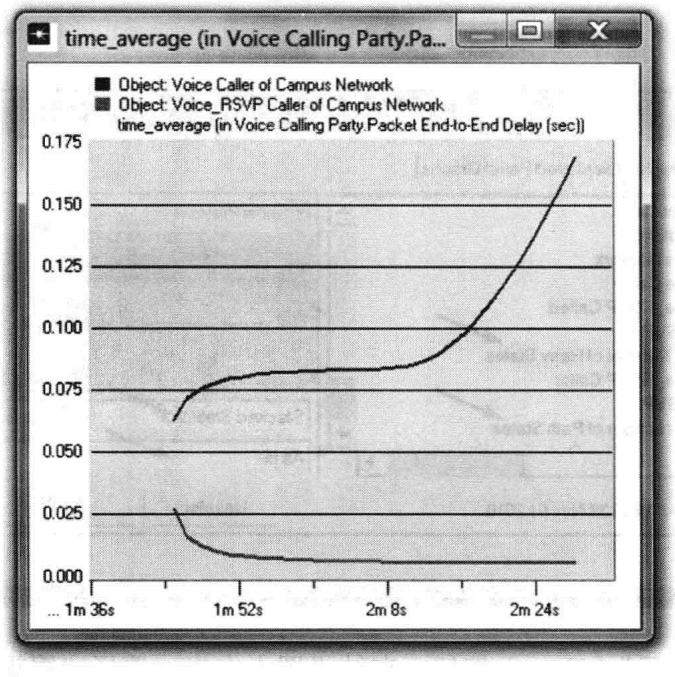
1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**观察结果**”（View Results）。

2）如下图所示，选择“**语音呼叫方**”（Voice Caller）节点和“**RSVP 语音呼叫方**”（Voice_RSVP Caller）节点的“**数据包端到端延迟**”（Packet End-to-End Delay）。选择

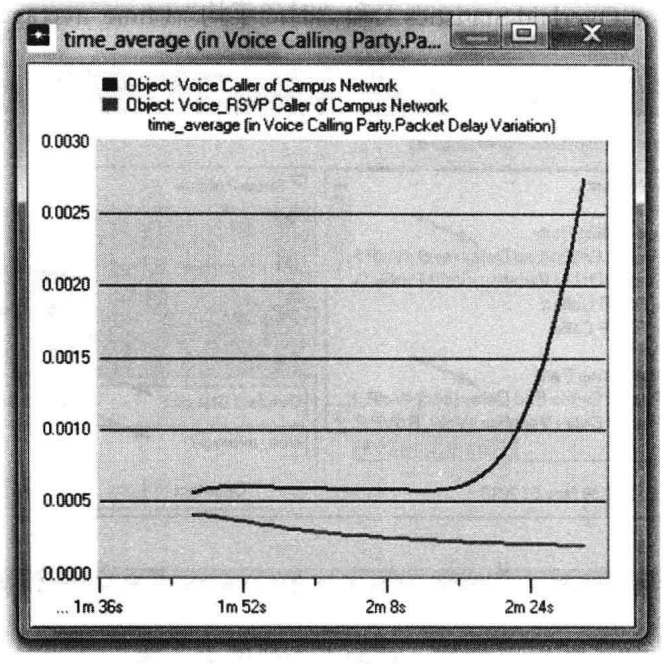
“**重叠显示统计量**”（Overlaid Statistics）和“**时间平均**”（time_average）。



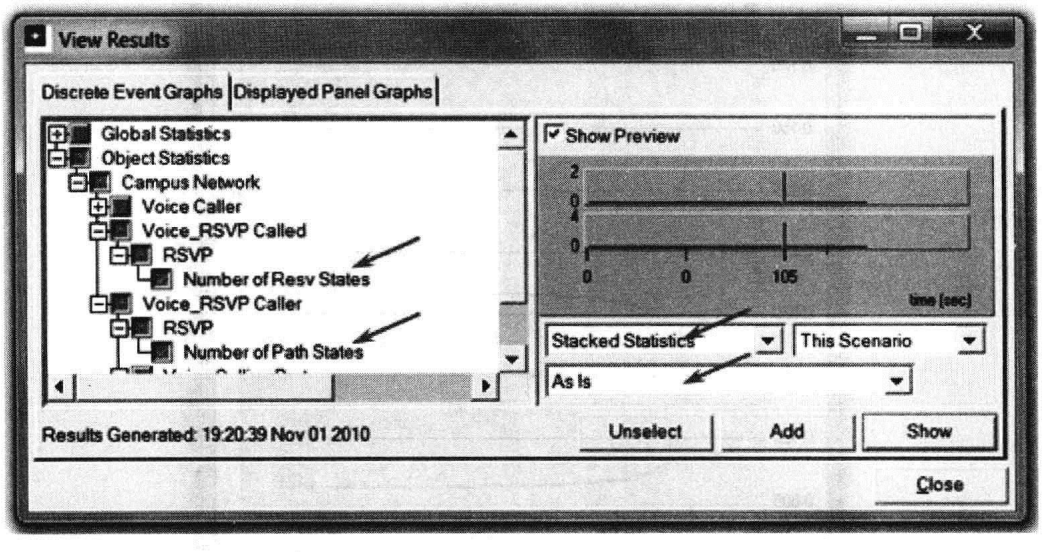
3）单击“**显示**”（Show）按钮，获取下面的图表（**注**：单击并且拖动鼠标，在适当的区域内画一个长方形，然后松开鼠标按键，放大图表）。



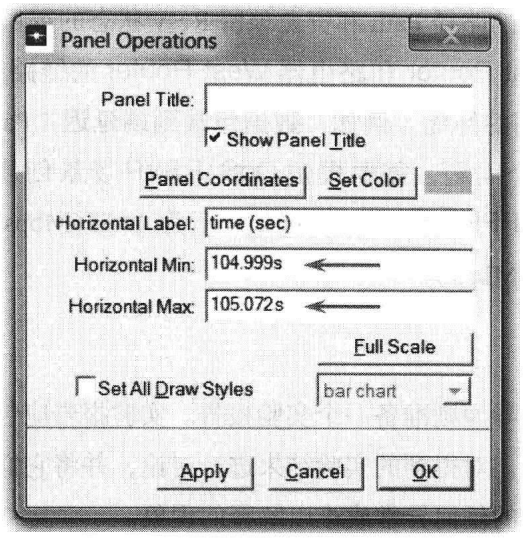
4）同样，可以获取下图，该图比较了“**语音呼叫方**”（Voice Caller）节点和“**RSVP 语音呼叫方**”（Voice_RSVP Caller）节点的“**数据包延迟抖动**”（Packet Delay Variation）。（**注**：确保取消了你在前面的图中选择的统计量。）



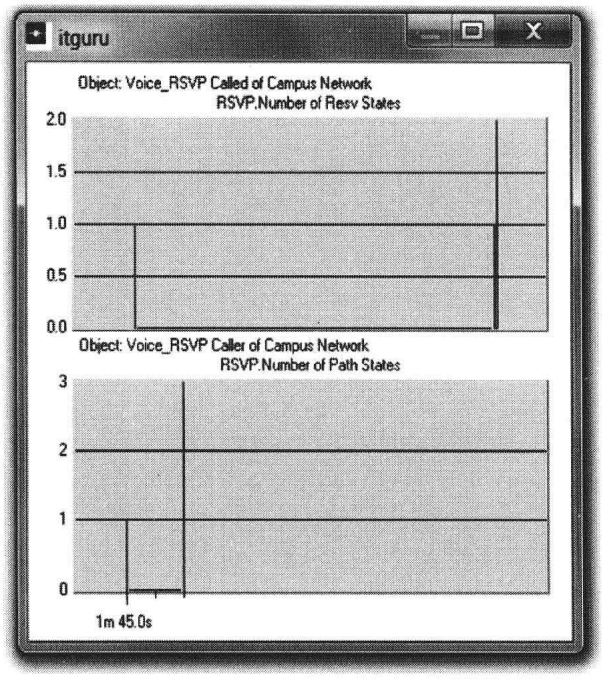
5）最后，通过选择以下统计量，来绘图显示路径 Path 和资源预留 Resv 状态的数量。如下图所示，确保选择了“**栈式显示统计量**”（Stacked Statistics）和“**保持原样**”（As Is）。



6）单击“**显示**”（Show）按钮，在结果图上右击，选择“**编辑面板属性**”（Edit Panel Properties）→如下图所示，指定“**水平最小值**”（Horizontal Min）和“**水平最大值**”（Horizontal Max）。



7）单击“**确定**”（OK）。结果图如下图所示。



进一步阅读

OPNET RSVP 模型描述：从“**协议**”（Protocols）菜单中，选择 RSVP →“**模型使用手册**”（Model Usage Guide）。

练习

1. 对我们在本实验中所获取的结果图进行分析。说明 RSVP 对语音应用产生的影

响，解释所获取的路径 Path 和资源预留 Resv 状态的数量。

2. 连接路由器 East Router 和路由器 West Router 的链路数据率是如何影响语音和视频会议应用的性能（例如，**数据包端到端延迟**（Packet End-to-End Delay））的？要回答这个问题，需要模仿 QoS_RSVP 场景创建新场景 Q2_HighRate，在新场景中用 PPP_DS3 链路（数据率为 44.736Mbps）取代 PPP_DS1 链路（数据率为 1.544Mbps）。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

防火墙和 VPN

网络安全和虚拟专用网络

实验目的

本实验的目的是研究防火墙和虚拟专用网络（Virtual Private Network，VPN）为共享公共网络（如因特网）提供安全性保障方面的作用。

实验概览

计算机网络是典型的共享资源，这些资源可被多个应用为不同目的所使用。有时候在应用进程之间传输的是机密数据，因而应用用户不希望别人读取这些数据。

防火墙是一种特殊的编程路由器，它位于某个站点和其余网络之间。我们说它是一个路由器，是指它连接着两个或者多个物理网络，把数据包从一个网络转发到另一个网络，并对通过的数据包进行过滤。防火墙允许系统管理员在某个中心位置实施安全策略。基于过滤的防火墙是最简单，也是应用最广泛的防火墙类型，它们根据所配置的地址表来决定对数据包进行转发或者不转发。

VPN 是在公共网络（如因特网）上提供可控连接的典型例子。VPN 使用一种叫做 IP 隧道的概念，IP 隧道是在一对节点之间的一种虚拟的点到点链路，这对节点实际可能被多个网络所隔开。通过提供隧道远端路由器的 IP 地址，一条虚拟链路就在隧道入口处的路由器中创建。当位于隧道入口处的路由器想要通过此虚拟链路发送数据包时，它就把该数据包封装在一个 IP 数据报中，IP 头中的目的地址是位于隧道远端的路由器的地址，而源地址是封装路由器的地址。

在本实验中，你将建立一个网络，在这个网络中，具有不同权限的客户可以通过因特网访问网络中的服务器。你将研究防火墙和 VPN 如何在维护拥有适当权限的客户访问服务器的同时，为服务器中的信息提供安全性保障。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 4.3.3 节和 8.4.2 节。

实验步骤

创建新工程

1）启动“OPNET IT Guru 学术版”（OPNET IT Guru Academic Edition）→在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials>_VPN，将场景命名为 NoFirewall →单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导**”（Startup Wizard）中单击“**退出**”（Quit）。

4）选择“**查看**”（View）菜单，移除世界地图背景→选择“**背景**”（Background）→“**设置边界地图**”（Set Border Map）→从下拉菜单中选择“**无**”（NONE）→单击“**确定**”（OK）。

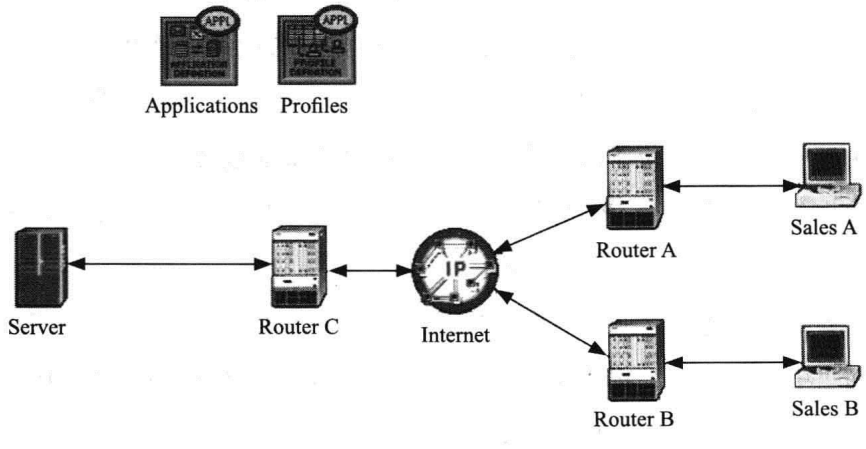
创建和配置网络

初始化网络

1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于工程工作区的顶部。如果不是，请单击按钮，打开它。在“**对象面板**”的下拉菜单中选择“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

2）从“**对象面板**”上为工程工作区添加如下对象：“**应用配置**”（Application Config）、“**业务规格配置**”（Profile Config）、一个 IP 云 ip32_Cloud、一个服务器 ppp_Server、三个路由器 ethernet4_slip8_gtwy 和两个工作站 ppp_wkstn。

3）对添加的对象重新命名，使用 PPP_DS1 链路把它们连接起来，如下图所示。



有益提示 ppp_Server 和 ppp_wkstn 以可选择的数据传输率支持底层的串行线路网际协议（Serial Line Internet Protocol，SLIP）。

PPP_DS1 用来连接运行点到点协议（Point-Point Protocol，PPP）的两个节点，它的数据传输率为 1.544Mbps。

配置节点

1）在“**应用**”（Applications）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**应用定义**”（Application Definitions）属性设置为“**默认**”（Default）→单击“**确定**”（OK）。

2）在“**业务规格**”（Profiles）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**业务规格**”（Profile Configuration）属性设置为“**样本业务规格**”（Sample Profiles）→单击“**确定**”（OK）。

3）在服务器 Server 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**应用：支持的服务**”（Application：Supported Services）属性设置为“**所有**”（All）→单击“**确定**”（OK）。

4）在客户端 Sales A 节点上右击→“**选择相似节点**”（Select Similar Nodes）（确保同时选择 Sales A 和 Sales B 节点）。

a. 在客户端 Sales A 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

b. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profile）属性→把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→定义“**业务规格名称**”（Profile Name）为“**销售人员**”（Sales Person）。（Sales Person 是我们在“**业务规格**”（Profiles）节点中配置的“样本业务规格”（sample profiles）之一）。

5）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示　在**默认**（Default）设置下，可以使用很多应用配置。例如，“网页浏览（Heavy HTTP1.1）”表示网页浏览应用程序使用 HTTP1.1 协议进行重量级浏览（heavy browsing）。

选择统计量

1）在工程工作区的任一地方右击，从弹出菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，检查以下统计量：

a.“**全局统计量**”（Global Statistics）→“**数据库查询**”（DB Query）→“**响应时间（秒）**”（Response Time（sec））。

b.“**全局统计量**”（Global Statistics）→ HTTP →“**网页响应时间（秒）**”（Page Response Time(sec)）。

3）单击“**确定**”（OK）。

4）在客户端 Sales A 节点上右击，从菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，检查以下统计量：

a. “**客户端数据库**”（Client DB）→“**接收流量（位 / 秒）**”（Traffic Received（bits/sec））。

b. “**客户端 HTTP**”（Client Http）→“**接收流量（位 / 秒）**”（Traffic Received（bits/sec））。

5）单击“**确定**”（OK）。

6）在客户端 Sales B 节点上右击，从菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，检查以下统计量：

a. “**客户端数据库**”（Client DB）→“**接收流量（位 / 秒）**”（Traffic Received（bits/sec））。

b. “**客户端 HTTP**”（Client Http）→“**接收流量（位 / 秒）**”（Traffic Received（bits/sec））。

7）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示　数据库查询响应时间（DB Query Response Time）指从数据库查询应用程序向服务器发出请求到接收到响应数据包的这段时间。

HTTP 网页响应时间（HTTP Page Response Time）指获取整个页面（包含所有内嵌对象）所需的时间。

防火墙场景

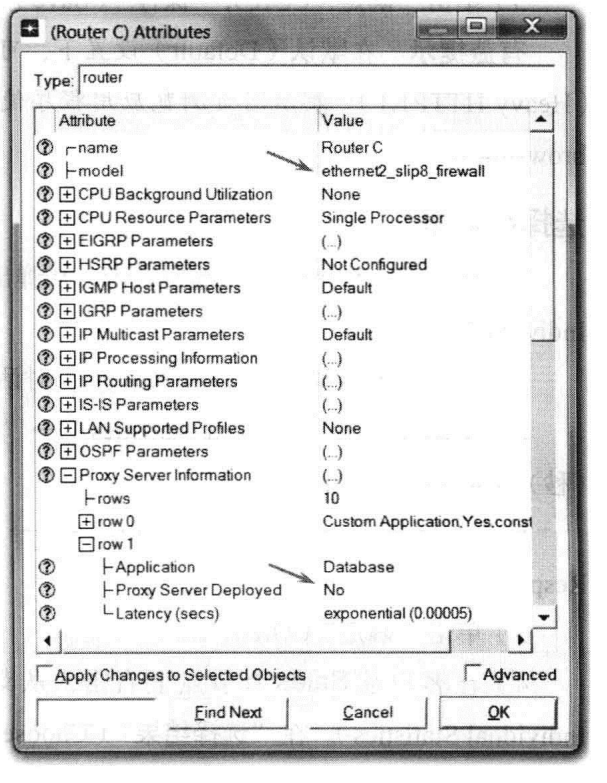
在刚刚创建的网络中，**销售人员**（Sales Person）业务规格允许两个销售站从服务器上获取诸如数据库访问、电子邮件、网页浏览等应用（检查**业务规格**（Profiles）节点的**业务规格配置**（Profile Configuration））。假设我们想保护服务器上的数据库不让外部（包括销售人员在内）对其进行访问，其中一个方法就是用防火墙代替路由器 C：

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为“**防火墙**”（Firewall）→单击“**确定**”（OK）。

2）在新场景中，在路由器 Router C 上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

3）把“**模型**”（model）属性设置为 ethernet2_slip8_firewall。

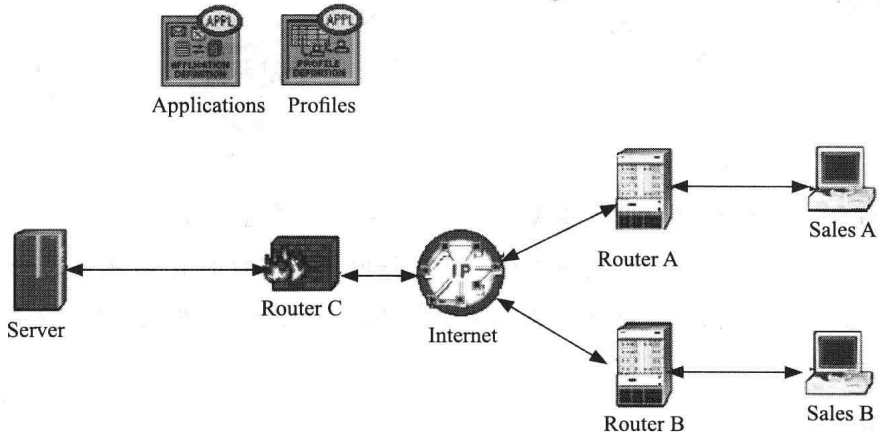
4）展开“**代理服务器信息**”（Proxy Server Information）属性→展开“**第 1 行**”（row 1），它代表数据库应用的层次结构→如右图所示，把“**代理服务器部署**”（Proxy Server Deployed）属性设置为“**否**”（No）。



5）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示　代理服务器信息（Proxy Server Information）是一张表，它定义了防火墙中代理服务器的配置。每行表示了应用是否需要代理服务器，还表示了使用代理服务器转发数据包的延迟。

防火墙（Firewall）配置为：不允许与数据库相关的流量经过该防火墙（它会把那种数据包过滤掉）。这样从外部就不能访问服务器中的数据库。防火墙场景应该如下图所示。



Firewall_VPN 场景

在 Firewall 场景中，我们使用防火墙保护服务器中的数据库，不允许任何来自外部的访问。假设我们让 Sales A 站点上的用户访问服务器中的数据库，因为防火墙不管流量的来源，过滤掉了所有与数据库相关的流量，所以我们需要考虑 VPN 解决方案。客户端 Sales A 可以使用虚拟隧道向服务器发送请求，因为隧道中的 IP 数据包将会封装在一个 IP 数据报中，防火墙将不会过滤由客户端 Sales A 产生的流量。

1）当在 Firewall 场景中时，在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 Firewall_VPN →单击“**确定**”（OK）。

2）移除路由器 Router C 和服务器 Server 之间的链路。

3）单击按钮，打开“**对象面板**”（Object Palette）对话框。在“**对象面板**”的下拉菜单中选择“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。

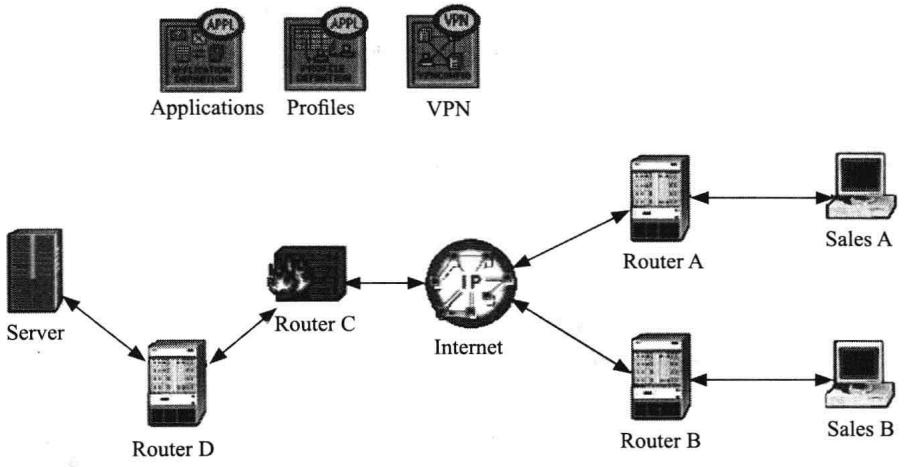
a. 从面板上为工程工作区添加如下对象：一个路由器 ethernet4_slip8_gtwy，一个 VPN 配置 IP VPN Config（放置位置请参见下图）。

b. 从“**对象面板**”中，使用两个 PPP_DS1 链路把新路由器连接到路由器 Router C 和服务器 Server 上，如下图所示。

c. 关闭“**对象面板**”对话框。

4）把 IP VPN Config 重新命名为 VPN。

5）重新命名新路由器为 Router D。

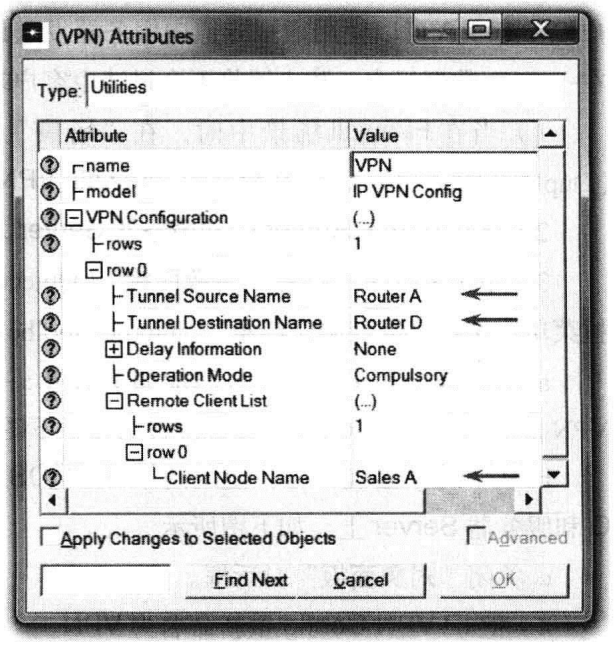


有益提示 ethernet4_slip8_gtwy 节点模型表示一个基于 IP 的网关，它支持 4 个以太网集线器接口和 8 个串行链路接口。到达任何一个接口的 IP 数据包将会根据它们的目的 IP 地址由路由器转发到一个合适的输出接口。RIP 和 OSPF 协议可被用来动态地创建网关路由表。

配置 VPN

在虚拟局域网 VPN 节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

a. 展开“**VPN 配置**”（VPN Configuration）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→编辑“**隧道源名**”（Tunnel Source Name）的值，输入路由器名：Router A →编辑“**隧道目的名**”（Tunnel Destination Name）的值，输入路由器名：Router D。



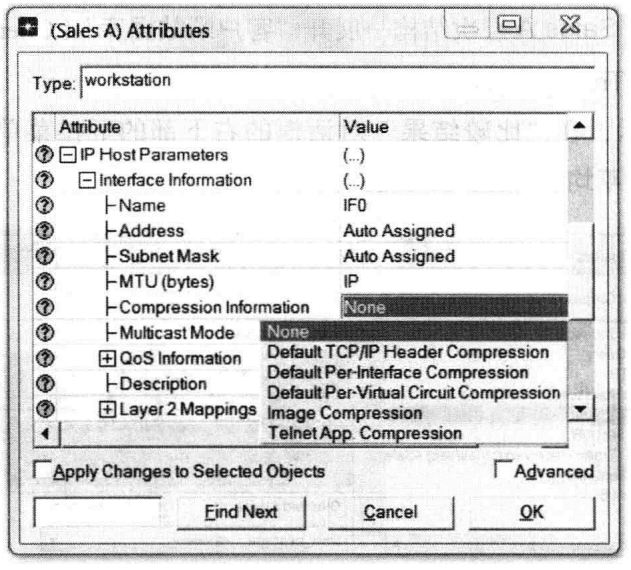
b. 展开“**远程客户列表**”（Remote Client List）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→编辑“**客户节点名**”（Client Node Name）的值，输入客户端名：Sales A。

c. 单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

仿真加密

客户端 Sales A 和服务器 Server 之间的虚拟隧道并不能保证传输的数

据内容的安全性。如果这些数据包的内容是需要保密的，那么这些数据包需要加密。在 OPNET 学术版中，数据包加密的效果是通过压缩功能来模拟的。如下图所示，两个可用的压缩方案是每接口压缩（Per-Interface Compression）和每虚电路压缩（Per-Virtual Circuit Compression）。一旦编辑了接口的压缩信息（Compression Information）属性，OPNET 就会为工程添加 IP 配置（IP Config）节点。



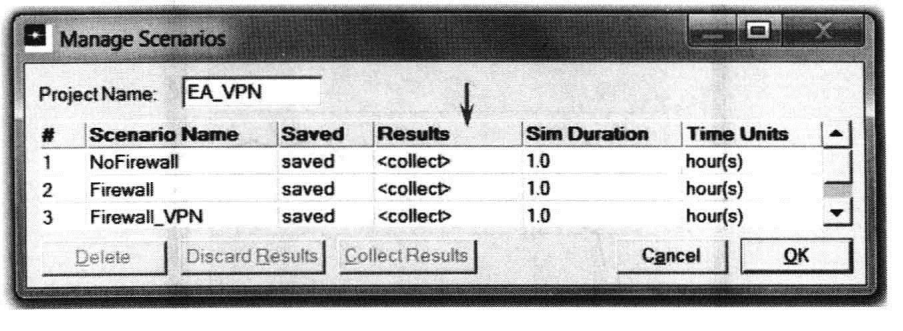
每接口压缩方案压缩整个数据包（包括头部），这表明数据包在路由的每一跳上都被压缩和解压缩。每虚电路压缩方案仅仅压缩数据包的有效载荷，因此仅在每个端节点处进行压缩和解压缩。实验最后的一道练习题就要求你使用压缩功能创建一个新场景。

运行仿真

请按如下步骤同时运行三个场景的仿真：

1）单击“**场景**”（Scenarios）菜单→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）把三个场景中“**结果**”（Results）栏中的值改为 <collect>（或者 <recollect>）。保持“**仿真持续时间**”（Sim Duration）的默认值（1 小时）。与下图做个比较。



3）单击“**确定**”（OK），运行 3 个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于

计算机的处理器速度。

4）仿真运行完成以后，单击“**关闭**”（Close）→“**保存**”（Save）工程。

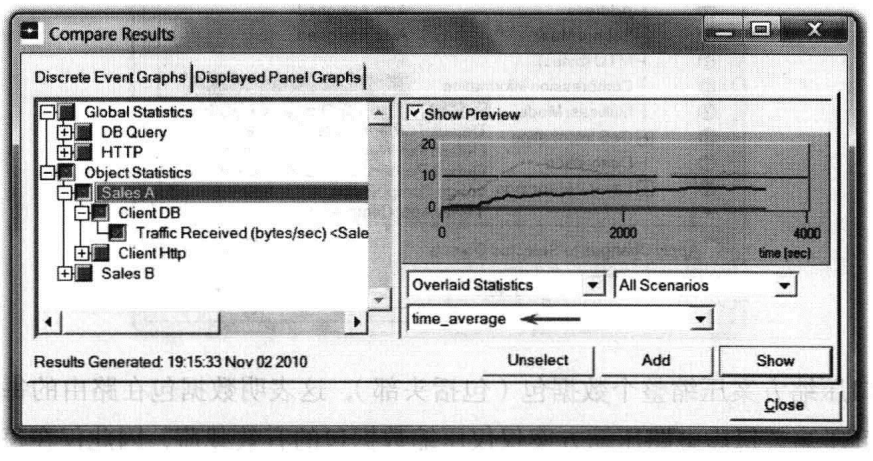
观察结果

按以下步骤观察并且分析结果：

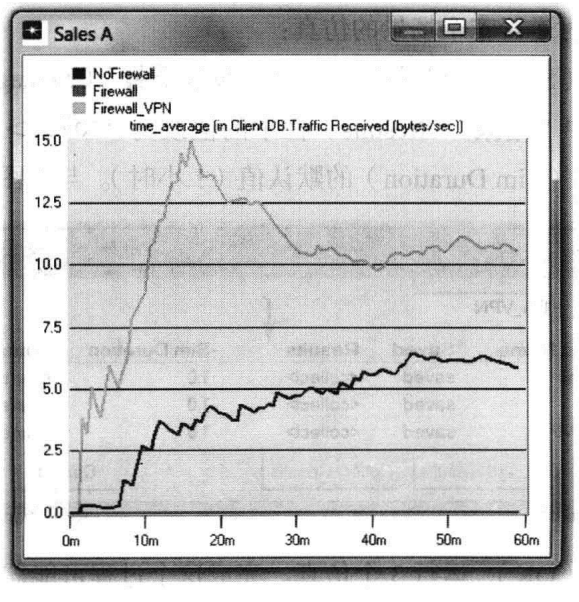
1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

2）展开客户端 Sales A 层次结构→展开“**客户端数据库**”（Client DB）层次结构→选择“**接收流量**”（Traffic Received）统计量。

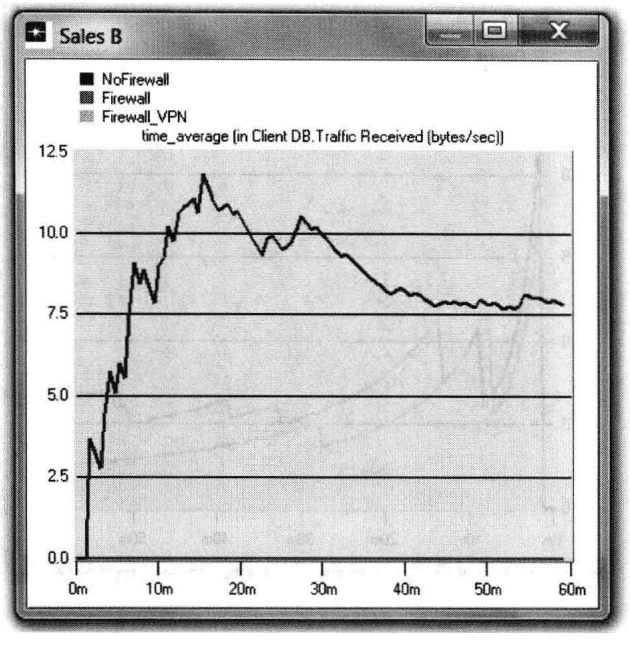
3）如下图所示，在“**比较结果**”对话框的右下部的下拉菜单中把“**保持原样**”（As Is）改为“**时间平均**”（time_average）。



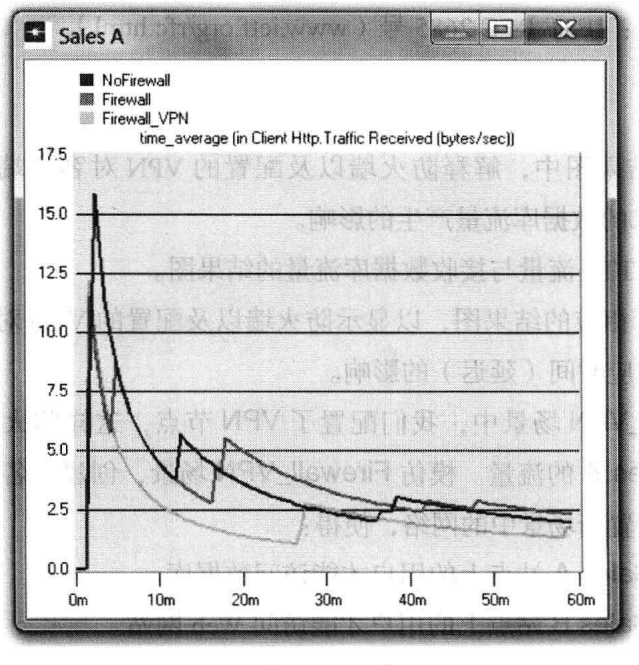
4）按下“**显示**”（Show）按钮，结果图应如下图所示。由于节点位置的不同，你的图有可能没有完全地与下图相同。



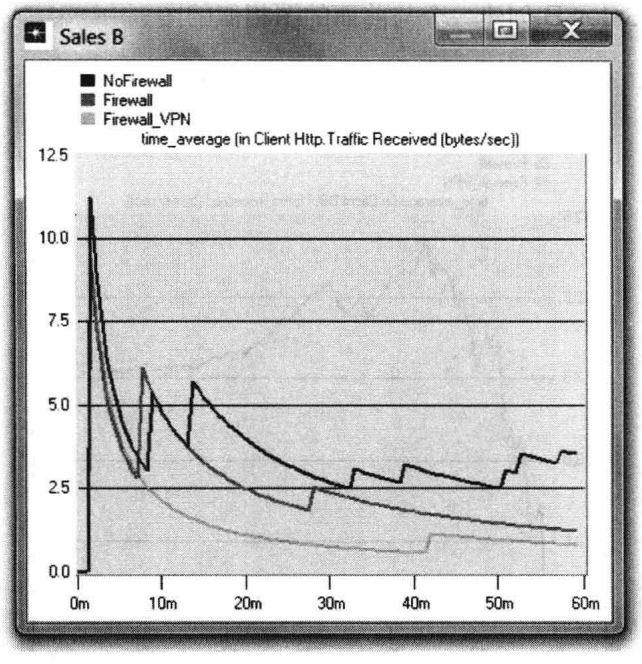
5）为客户端 Sales B 创建一个与前面的图相似的图。



6）创建两个与前面的图相似的图，该图描述了客户端 Sales A 和客户端 Sales B 的**客户端 HTTP**（Client Http）所接收的流量。



注：由于节点放置位置的不同，结果可能有轻微变化。



进一步阅读

因特网链路容量对应用性能产生的影响：从“**协议**”（Protocols）菜单中，选择“**方法**”（Methodologies）→“**容量规划**”（Capacity Planning）。

虚拟专用网络：IETF RFC 2685 号（www.ietf.org/rfc.html）。

练习

1. 从获取的结果图中，解释防火墙以及配置的 VPN 对客户端 Sales A 和客户端 Sale B 请求的数据库流量产生的影响。
2. 比较接收 HTTP 流量与接收数据库流量的结果图。
3. 生成并分析相应的结果图，以显示防火墙以及配置的 VPN 对 HTTP 网页和数据库查找的响应时间（延迟）的影响。
4. 在 Firewall_VPN 场景中，我们配置了 VPN 节点，这样防火墙就不会阻止来自客户端 Sales A 的流量。模仿 Firewall_VPN 场景，创建命名为 Q4_DB_Web 的新场景，配置新场景中的网络，使得：

   a. **只有**在 Sales A 站点上的用户才能访问数据库。

   b. **只有**在 Sales B 站点上的用户才能访问 Web 网站。

   报告中应该包含新的网络配置图，包括对现有的或者添加的节点的属性所做出的任何改变。生成客户端 Sales A 和客户端 Sales B 的数据库接收流量（DB traffic received）和 HTTP 接收流量（HTTP traffic received）的结果图，显示新的网络是

否满足前面提到的需求。

5. 模拟 Firewall_VPN 场景，创建名为 Q5_Compression 的新场景。在新场景中，通过**每虚电路压缩**（Per-Virtual Circuit Compression）仿真客户端 Sales A 和服务器 Server 之间的数据包加密。因为加密所需要的时间比压缩所需要的时间多，所以在“**IP 配置**”（IP Config）节点中，编辑每虚电路压缩行（第 3 行）的属性：分别把“**压缩延迟**”（Compression Delay）和“**解压缩延迟**”（Decompression Delay）设置为 3E-006 和 1E-006。研究压缩对客户端 Sales A 和服务器 Server 之间的数据库查询（DB Query）响应时间所产生的影响。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

应用

网络应用的性能分析

实验目的

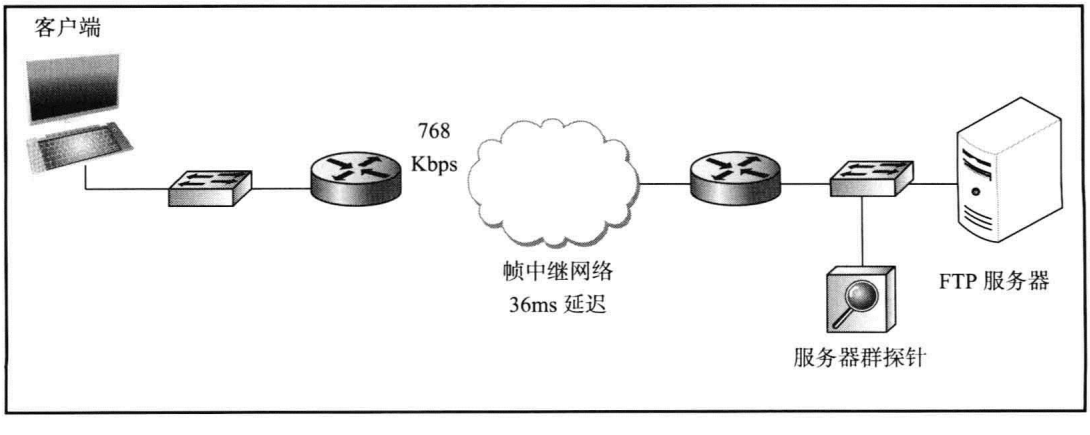
本实验的目的是分析因特网应用协议的性能，以及它们与底层网络协议之间的关系。此外，本实验还将回顾以前实验中讨论过的部分话题。

实验概览

网络应用包括与其他计算机上的对等端交换信息的网络协议和与用户进行交互的传统应用程序。

OPNET 的应用特征描述环境（Application Characterization Environment，ACE）提供了强大的可视化功能以及诊断能力，可以用于网络应用性能的分析。ACE 提供的信息有助于分析应用出现问题的根本原因，还能对不同场景下的应用行为进行预测。由协议分析器或者 OPNET 捕获代理（学术版中不包含）捕获的跟踪记录文件作为 ACE 的输入。

在本实验中，你将分析 FTP 应用的性能和在应用场景中可能存在的瓶颈。你还将研究应用对不同网络条件（例如不同带宽、数据包丢失）的敏感性。在如下图所示的实际网络中，已捕获了跟踪记录，并导入到 ACE 中。在该网络中运行 FTP 应用，客户通过具有 768Kbps 传输速率、36ms 延迟的帧中继电路与服务器连接，FTP 在 37 秒内下载一个 1MB 的文件，通常情况下同样大小文件下载仅需 11 秒。



实验前的准备

阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的第 9 章。

浏览 www.net-seal.net，并播放下面的动画：

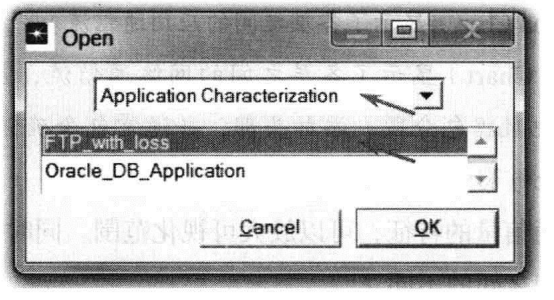
- 因特网接入（Internet Access）。
- 邮件协议（Email Protocols）。

实验步骤

请按如下步骤打开应用特征描述环境：

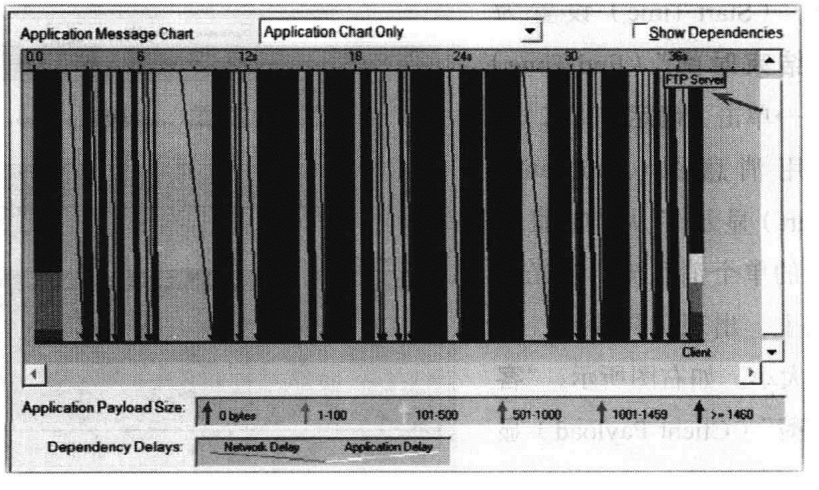
1. **“启动 OPNET IT Guru 学术版”**（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在 **“文件”**（File）菜单中选择 **“打开”**（Open）→在下拉菜单中选择 **“应用特征描述”**（Application Characterization）。

2. 在列表中选择 **“有丢包的 FTP”**（FTP_with_loss）→单击 **“确定”**（OK）。



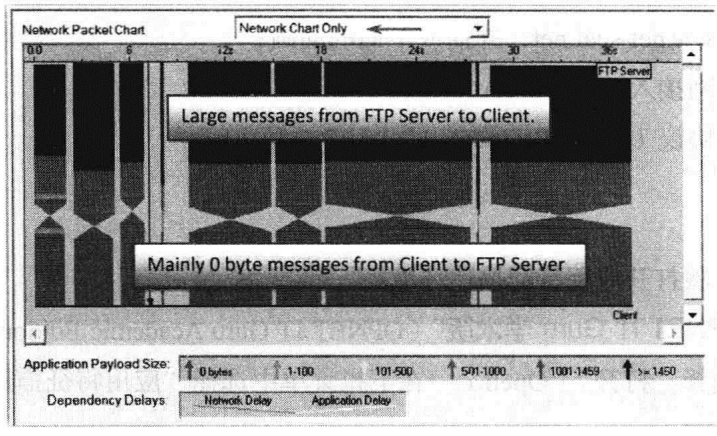
可视化应用

ACE 显示了数据交换图（Data Exchange Chart，DEC），此图描述了各层之间的应用通信流。你的 DEC 可能会也可能不会把 **“FTP 服务器”**（FTP Server）层显示为顶层。如果没有，把层标签从底部拖动到顶部。现在，计算机屏幕应与下图中的一样。



1）如下图所示，从下拉菜单中选择“**仅有网络图**”（Network Chart Only）。

2）为了区分信息流，选择“**视图**”（view）→“**分割组**”（Split Groups）。



有益提示　数据交换图（Data Exchange Chart）能够显示下列各图：

应用图（Application Chart）显示了各层之间的应用通信流。

网络图（Network Chart）显示了各层之间的网络通信流，包括网络协议对应用产生的影响。网络协议把数据包分段，添加头部，并通常包含确保可靠数据传输的机制。这些网络协议的作用能够影响应用的行为。

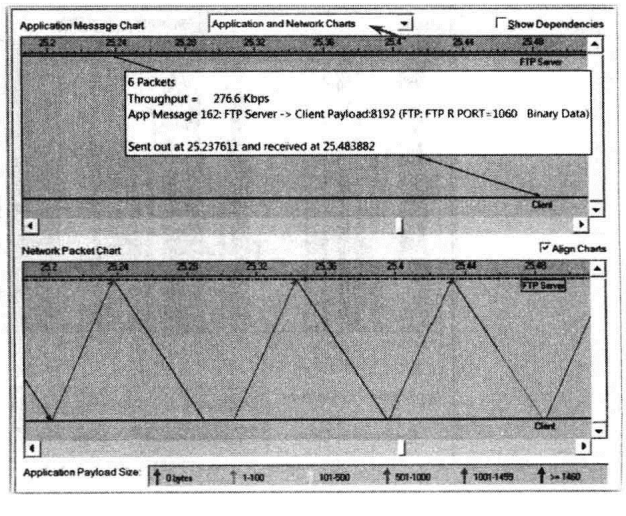
为了更好地了解通信量的特征，可以放大可视化范围。同时对应用图和网络图进行观察，就可以看出它们之间的不同。

1）在对话框中间的下拉菜单中，选择“**应用和网络图**”（Application and Network Chart）。

2）选择“**视图**”（View）→“**分割组**”（Split Groups）。

3）选择“**视图**”（View）→设置“**可视化时间范围**”（Visible Time Range）→把“**开始时间**”（Start Time）设置为25.2，把“**结束时间**”（End Time）设置为25.5→单击“**确定**”（OK）。

4）应用消息图（Application Message Chart）显示了从FTP服务器到客户端的单个消息流。把光标停留在消息上，出现工具提示，显示消息流的大小。如右图所示，“**客户端有效载荷**”（Client Payload）显示为8192。



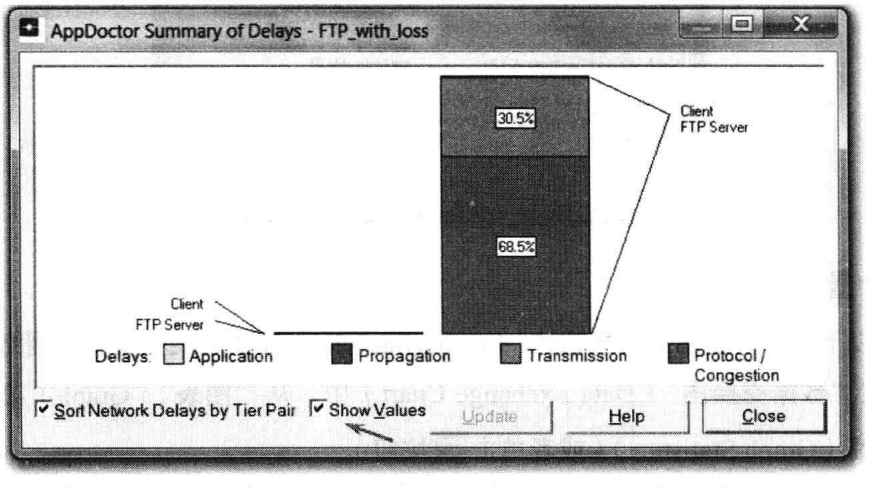
这个网络图表明，应用消息导致许多数据包流过网络，这些数据包是由从 FTP 服务器到客户端的大数据包（蓝色的和绿色的）和从客户端到 FTP 服务器的小数据包（红色的）混合而成。红色表明这些数据包包含 0 字节的应用层数据，它们是 TCP 发送的确认报文。

使用 AppDoctor 进行分析

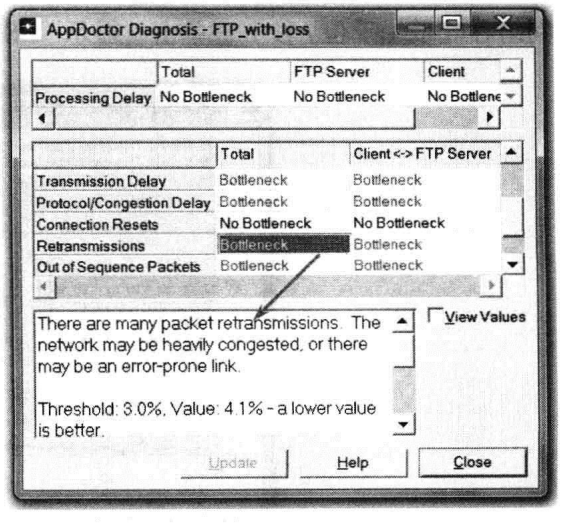
AppDoctor 的“**延迟汇总**”（Summary of Delays）为整体应用延迟的根本原因给出内在解释。

1）从 AppDoctor 菜单中，选择“**延迟汇总**”（Summary of Delays）→选中“**显示值**”（Show Values）复选框。

注意，在应用响应时间中占最大部分的是协议 / 拥塞。仅 30% 的文件下载时间是由帧中继电路限制带宽（768Kbps）所造成的。同时注意，客户端和 FTP 服务器的应用延迟（在节点中处理的）在应用响应时间中只占很次要的部分。



2）关闭“**延迟汇总**”（Summary of Delays）对话框。AppDoctor 的“**诊断**”（Diagnosis）功能将对协议 / 拥塞延迟的原因给出更深入的解释。



3）从 AppDoctor 菜单中，选择“**诊断**”（Diagnosis）。诊断显示了 4 个瓶颈：传输延迟、协议 / 拥塞延迟、重传和乱序的数据包。导致协议 / 拥塞延迟的原因之一是重传。可以看到，重传是瓶颈之一，数据包乱序是由重传产生的副作用。解决

重传问题还将有可能解决数据包乱序问题。

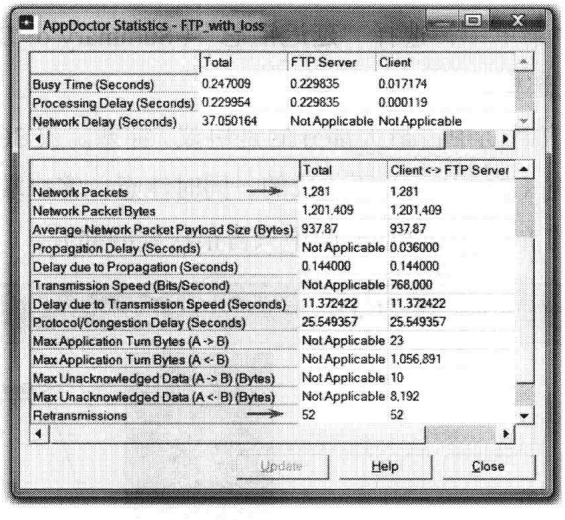
4）关闭“**诊断**”（Diagnosis）窗口。

AppDoctor 还为应用事务（application transaction）提供了汇总统计量。

5）从 AppDoctor 菜单中，选择“**统计量**”（Statistics）。

注意，在传输由 1281 个数据包组成的文件的过程中，发生了 52 次重传，重传率为 4%。

6）关闭“**统计量**”（Statistics）窗口。

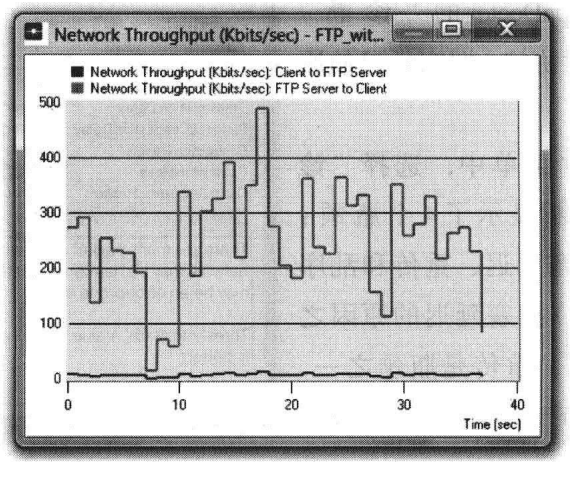


检查统计量

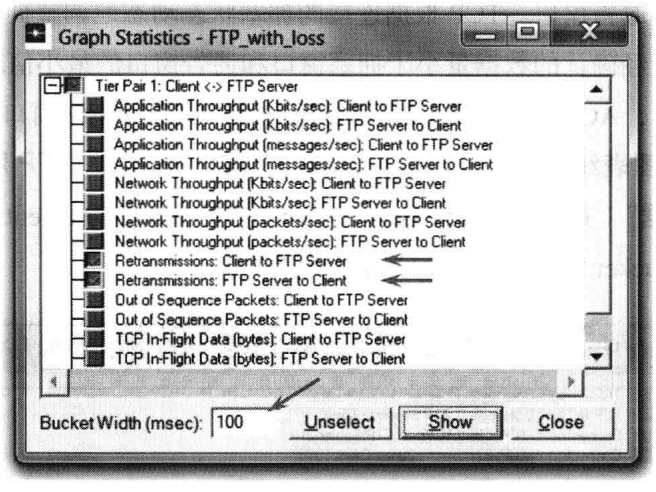
请按以下步骤，使用“**图表统计**”（Graph Statistics）功能，观察实际的网络吞吐量。

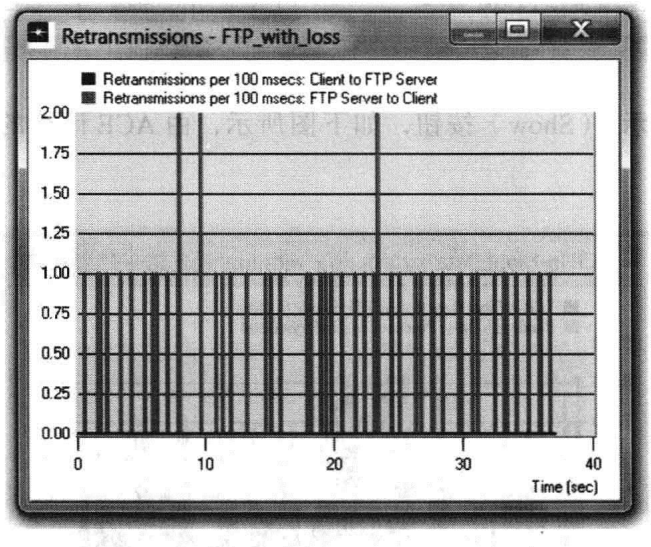
1）在“**数据交换图**”（Data Exchange Chart）中，从“**图表**”（Graph）菜单中选择“**图表统计**”（Graph Statistics）（或者单击按钮）。

2）选择客户端到 FTP 服务器的网络吞吐量（千位 / 秒）和 FTP 服务器到客户端的网络吞吐量（千位 / 秒）→单击“**显示**”（Show）按钮。



3）返回到“**图表统计**”（Graph Statistics）窗口→取消选中的吞吐量统计量，选择两个“**重传**”（Retransmissions）统计量→把“**桶的宽度**”（Bucket Width）改为“**100毫秒**”（100 ms）→单击“**显示**”（Show）按钮。





有益提示　ACE 把整个任务持续的时间分割成单个的时间**桶**（buckets），为每个时间间隔计算平均值或者总值。默认桶宽度是 1000 毫秒，可以在 ACE 统计量浏览器的“**桶宽度（毫秒）**”（Bucket Width（msec））域中修改这个值。

理想的 TCP 窗口大小

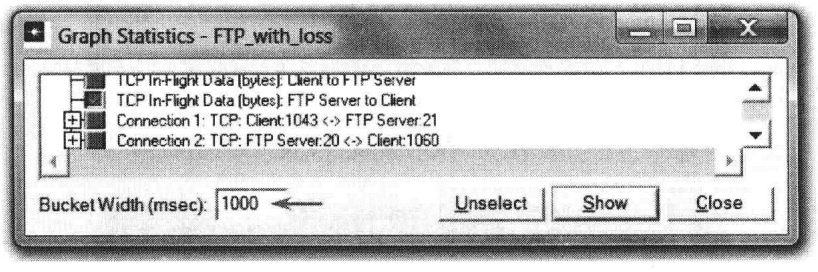
在 TCP 中，不是使用一个固定大小的滑动窗口，而是由接收方把窗口大小通告给发送方。这个过程是通过使用 TCP 头中的“**通告窗口**”（Advertised Window）域完成的。在给定时间内发送方发送的数据不能超过未确认数据的通告窗口域中规定的字节值。根据分配给连接的数据缓冲区大小，接收方选择了一个合适的通告窗口值。这一过程叫

做流量控制（flow control），其思想是限制发送方发送超过接收方缓冲区容量的数据。

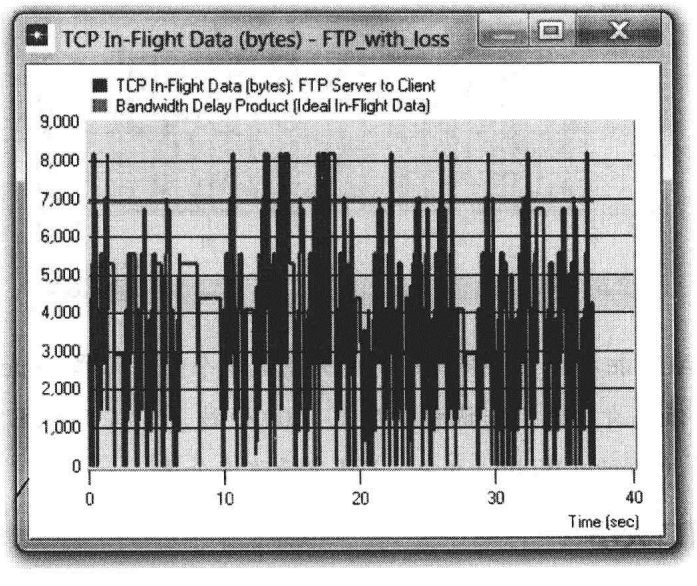
除此之外，TCP 为每个连接维护一个称为**拥塞窗口**（CongestinWindow）的新的状态变量，源端根据它来限制给定时间内允许发送的数据量。在拥塞控制中，拥塞窗口对应于流量控制中的通告窗口。TCP 根据连接的拥塞状态动态地调整拥塞窗口的大小。

仅当发送但未经确认的数据量小于拥塞窗口和通告窗口的最小值时，TCP 才会发送数据。如下图所示，ACE 可以基于带宽延迟积自动计算最佳拥塞窗口大小。

1）返回到“**图表统计量**”（Graph Statistics）窗口→选择“**FTP 服务器到客户端的 TCP 未应答的数据**”（TCP In-Flight Data（bytes）FTP_Server to Client）统计量→把“**桶宽度（毫秒）**”（Bucket Width（msec））设置为 1000。



2）单击“**显示**”（Show）按钮，如下图所示，由 ACE 计算的理想窗口大小为 7KB。



3）现在可以关闭所有的图（若有要求让你删除面板，就删除面板），关闭“**图表统计量**”（Graph Statistics）窗口。

有益提示 连接的**带宽延迟积**（bandwidth-delay product）给出了连接的“容量”

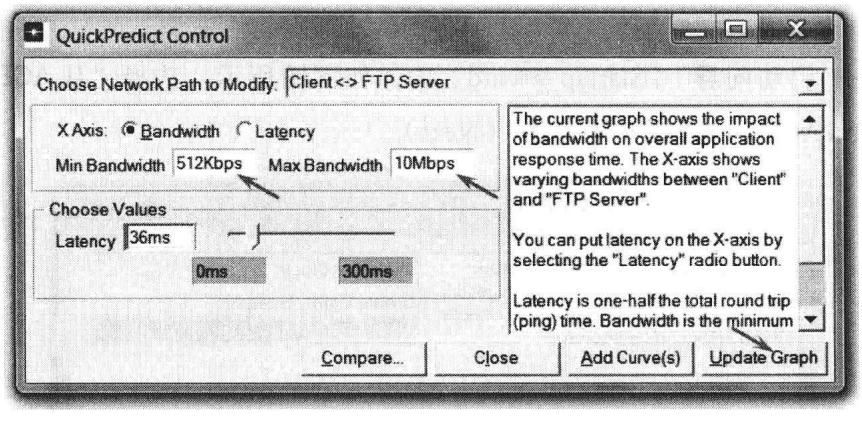
（volume），即它包含的位数，它对应于在第一位到达接收方之前，发送方必须发送的位数。

网络带宽的影响

ACE 快速预测功能有助于研究应用对网络条件（如带宽和延迟）的敏感性。

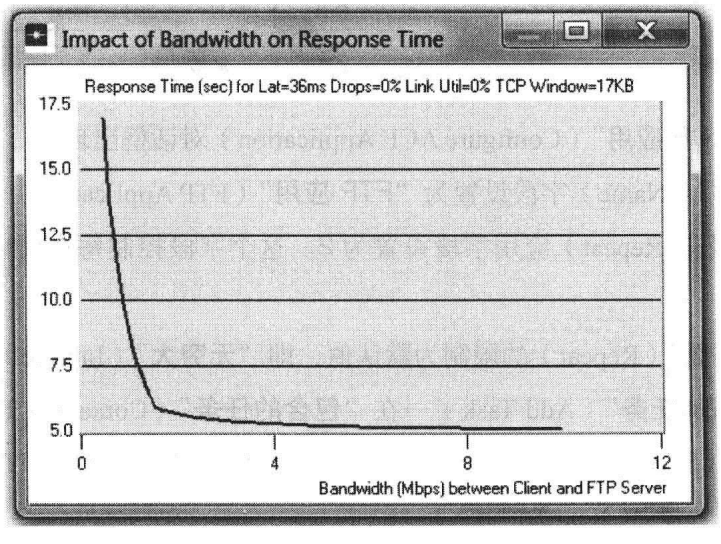
1）单击“**快速预测**”（Quick Predict）按钮。

2）在“**快速预测控制**”（QuickPredict Control）对话框中，设置“**最小带宽**”（Min Bandwidth）域为 512Kbps，设置“**最大带宽**”（Max Bandwidth）域为 10BaseT（10Mbps）→单击“**更新图表**”（Update Graph）按钮。



3）结果图如下图所示。

4）关闭图表以及“**快速预测控制**”（QuickPredict Control）对话框。



部署应用

OPNET IT Guru 可以用来对 ACE 中描述的应用进行预测研究。ACE 使用跟踪文件

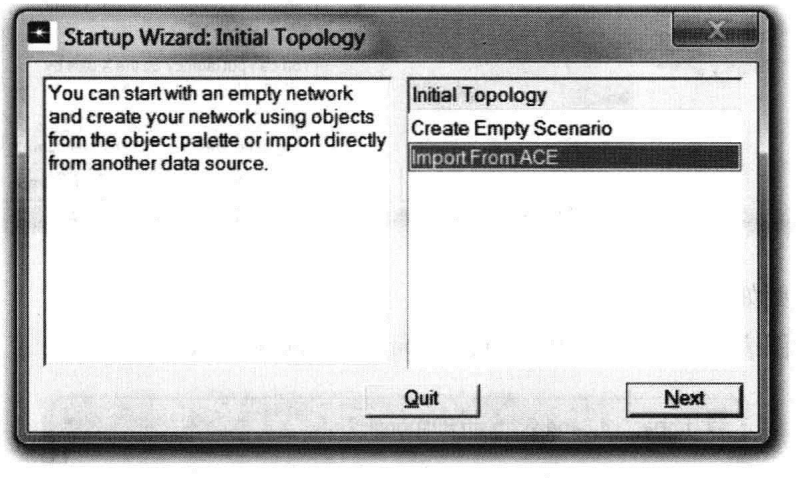
来创建能够刻画层间数据交换的应用指纹（fingerprint）。通过这些指纹，仿真可以显示出在不同条件下应用是如何运行的。例如，使用 ACE 拓扑向导，可以从本实验的 ACE 文件（即 FTP_with_loss）创建一个网络模型，进而回答如下问题：当一个 IP 网络中同时有 100 个用户时，FTP 应用性能会怎样？

解答这个问题

1）在 IT Guru 主窗口上，选择“**文件**”（File）→“**新建**”（New）→从下拉菜单中选择“**工程**”（Project）→单击“**确定**”（OK）。

2）将工程命名为 <your initials>_FTP，将场景命名为 ManyUsers →单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导**”（Startup Wizard）中，如下图所示，选择“**从 ACE 中导入**”（Import form ACE）→ 单击“**下一步**”（Next）。



4）“**配置 ACE 应用**”（Configure ACE Application）对话框出现。

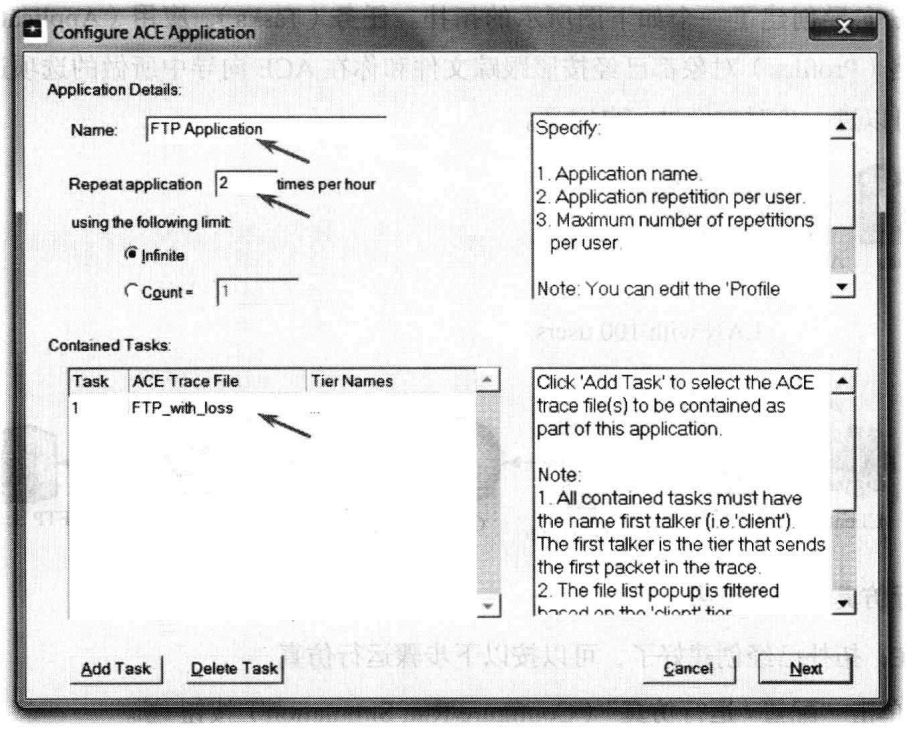
a. 把“**名称**”（Name）字段设置为“**FTP 应用**”（FTP Application）。

b. 把“**重复**”（Repeat）应用字段设置为 2。这个字段控制每小时内每个用户执行该应用的次数。

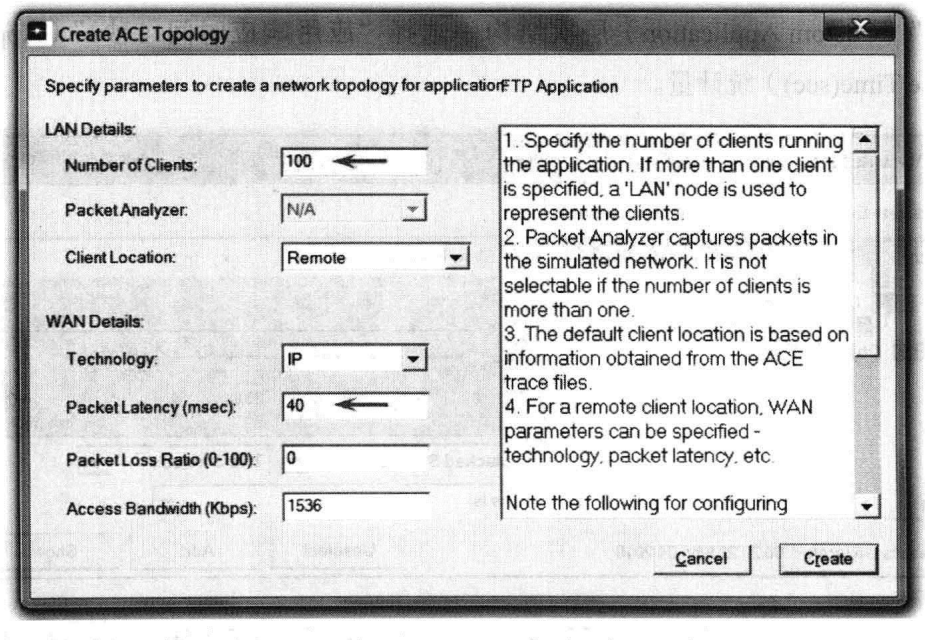
c. 保留“**重复**”（Repeat）的限制为默认值，即“**无穷大**”（Infinite）。

d. 单击“**添加任务**”（Add Task）→在“**包含的任务**”（Contained Tasks）表中，单击“**规范……**”（Specify…）→从下拉菜单中选择“**有丢包的 FTP**”（FTP_with_loss）。

e. 单击“**下一步**”（Next）。

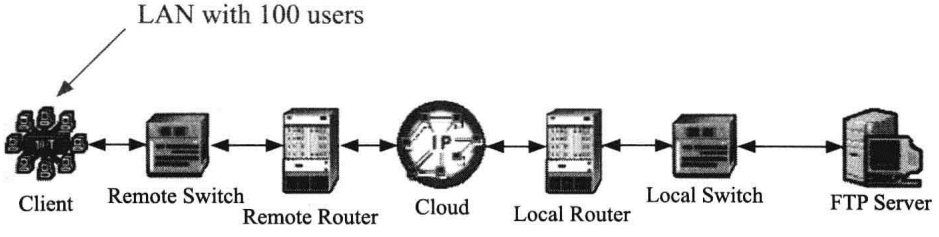


5）出现“**创建 ACE 拓扑**”（Creat ACE Topology）对话框。把“**客户端数量**”（Number of Clients）设置为 100，把“**数据包延迟**”（Packet Latency）设置为 40，把其他选项保留为默认值→单击“**创建**”（Create）。



6）选择“**文件**”（File）→“**保存**”（Save）→单击“**确定**”（OK），保存工程。

ACE 向导创建了一个如下图所示的拓扑。**任务**（Tasks）、**应用**（Applications）和**业务规格**（Profiles）对象都已经按照跟踪文件和你在 ACE 向导中所做的选项进行了配置。你可以进一步对它们进行自定义。



运行仿真，观察结果

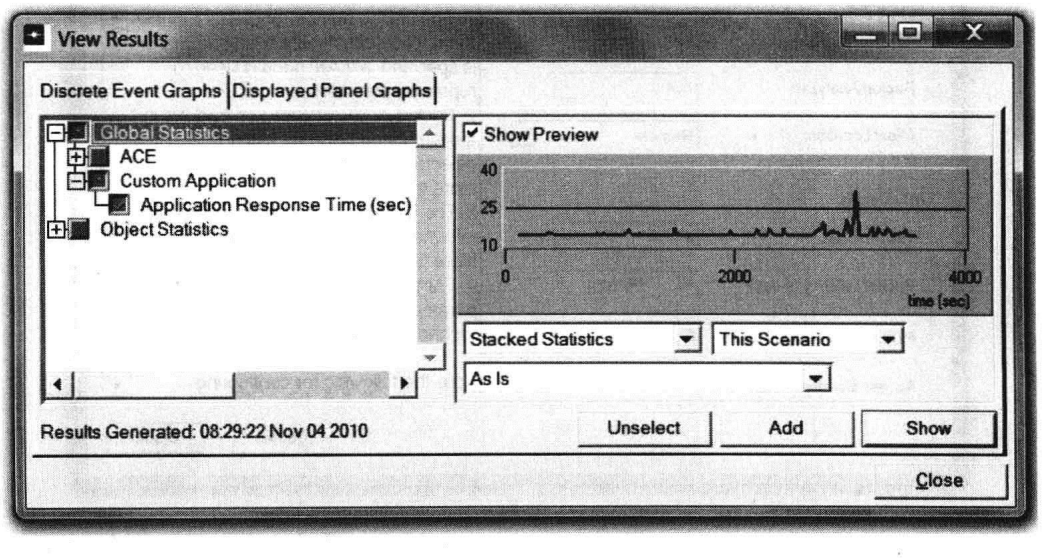
现在，拓扑已经创建好了，可以按以下步骤运行仿真。

1）单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮。

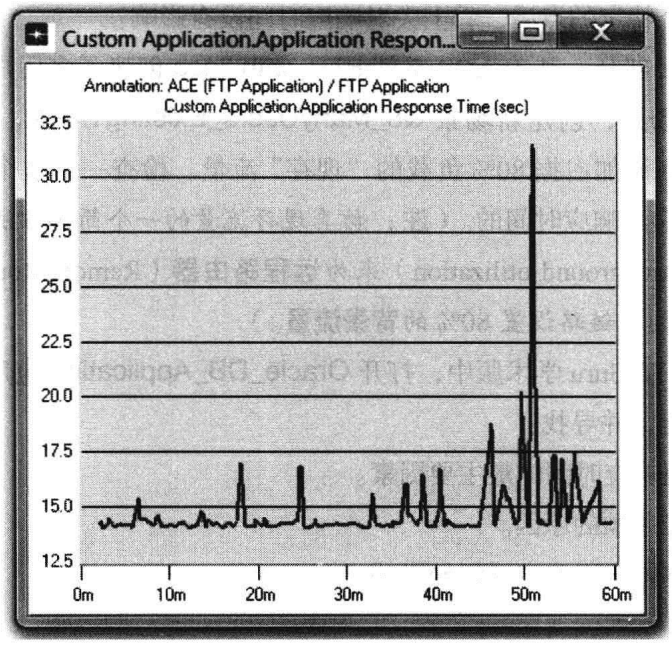
2）使用默认值，单击“**运行**”（Run）。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

3）仿真运行完毕时，关闭对话框→“**保存**”（Save）工程。

4）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**查看结果**”（View Results）→展开“**自定义应用**”（Custom Application）层次结构→选择“**应用响应时间（秒）**”（Application Response Time(sec)）统计量。



5）单击“**显示**”（Show）按钮。结果图如下图所示。



进一步阅读

文件传输协议：IETF RFC 959 号（www.ietf.org/rfc.html）。

练习

1. 解释为什么客户端到 FTP 服务器的信息主要都是 0 字节？
2. 使用 AppDoctor 的延迟汇总（Summary of Delays），说明下列升级对 FTP 下载时间有什么影响。
   a. 服务器升级
   b. 带宽升级
   c. 协议升级
3. 重传是怎样影响协议 / 拥塞延迟的？解释为什么说“乱序”的数据包是重传的一个副作用。
4. 下列哪个协议是造成重传的原因：IP、TCP，还是 FTP？解释原因。
5. 在**网络吞吐量**（Network Throughput）图中，从 FTP 服务器到客户端的吞吐量的平均值是 300Kbps，其峰值是 500Kps。但是，帧中继电路的可用带宽是 768Kbps。解释为什么吞吐量并不接近于可用带宽。
6. 解释 TCP 未确认的（in-flight）数据如何用来作为 TCP 窗口大小的指示器，连接的带宽延迟积（bandwidth-delay product）如何用来作为理想窗口大小的指示器。
7. 分析评论显示网络带宽与 FTP 应用响应时间之间关系的结果图。为什么带宽增

长超过一个特定的点后，看上去对响应时间没有影响？

8. 在应用部署部分，基于 ACE 文件 FTP_with_loss 创建了多用户网络模型。复制已创建的场景，创建新场景 Q8_ManyUsers_ExistingTraffic。在这个新的场景中，给网络添加占据 80% 负载的“现存”流量。检查一下这个现存流量是如何影响 FTP 应用响应时间的。（**注**：*仿真现存流量的一个简单方法是：用应用背景利用率（Background utilization）来为**远程路由器**（Remote Router）和 IP 云（IP Cloud）之间的链路设置 80% 的**背景流量**。*）
9. 从 OPNET IT Guru 学术版中，打开 Oracle_DB_Application 应用特征描述，分析应用的性能，并寻找：
   a. 影响应用响应时间的最主要因素。
   b. 任何潜在瓶颈的原因。
   c. 带宽对整体应用响应时间的影响。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

Web 缓存和数据压缩

改善 Web 访问和服务器性能

实验目的

本实验的目的是研究 Web 缓存和数据压缩对访问 Web 页面的响应时间以及 Web 服务器负载的影响。

实验概览

通常，通过网络发送数据之前对数据进行压缩是个好主意，因为相对于未经压缩的数据而言，网络可用更少的时间来传递经过压缩的数据。然而，压缩 / 解压缩算法通常包含一段费时的计算过程。所以面对的问题就是：在给定主机处理器速度和网络带宽等因素下，考虑是否值得花费时间对数据进行压缩 / 解压缩。

OPNET IT Guru 学术版提供了两种压缩的方法：每虚电路（有效载荷）压缩（Per-Virtual Circuit (payload) Compression）和每接口（整个数据包）压缩（Per-Interface (entire packet) Compression）。在每虚电路压缩中，数据包有效载荷的压缩和解压缩仅发生在端节点上；而若要用每接口压缩的方法，整个数据包在路由的每一跳上都进行压缩和解压缩。因此，每虚电路压缩需要很小的附加延迟，而每接口压缩产生较小的数据包。

Web 缓存有很多优点：从客户端的角度来看，一个可以从附近的高速缓存中检索到的网页比必须经过因特网才能获取到的网页能够更快地显示出来；从服务器的角度来看，如果高速缓存能够满足客户端的请求，那么就减少了服务器的负载。很多不同的地方都能够实现高速缓存，例如，用户的浏览器可以缓存用户最近访问的网页，如果这个用户再次访问这个网页，只需访问缓存就可以了。再例如，网络服务提供商能够配置网络中的节点，该节点能够用来为他们的用户缓存网页，有时这个节点也称为**代理**。

在本实验中，我们将创建一个网络的三个场景，在这个网络中，客户端会跨越大西洋访问 Web 服务器。我们将研究数据压缩和 Web 缓存对减少访问 Web 网页的响应时间以及对减轻 Web 服务器负载的作用。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 7.2 节和 9.1 节。

实验步骤

创建新工程

1）启动“OPNET IT Guru 学术版”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project），单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials>_CachingComp，将场景命名为 NoCache_NoComp →单击“**确定**”（OK）。

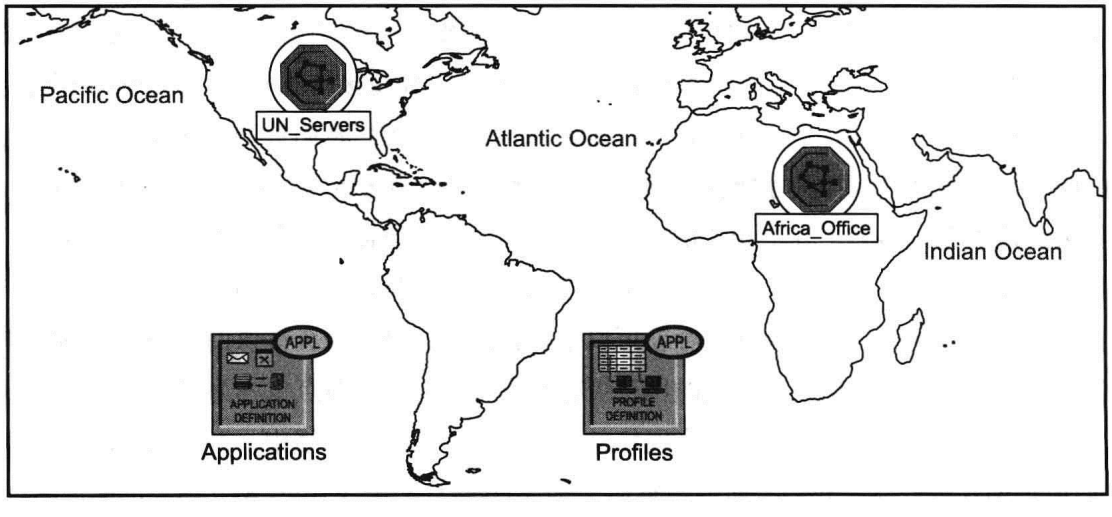
3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，选择“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项→单击“**下一步**”（Next）→从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**世界**”（World）→单击“**下一步**”（Next）3 次→单击“**确定**”（OK）。

创建和配置网络

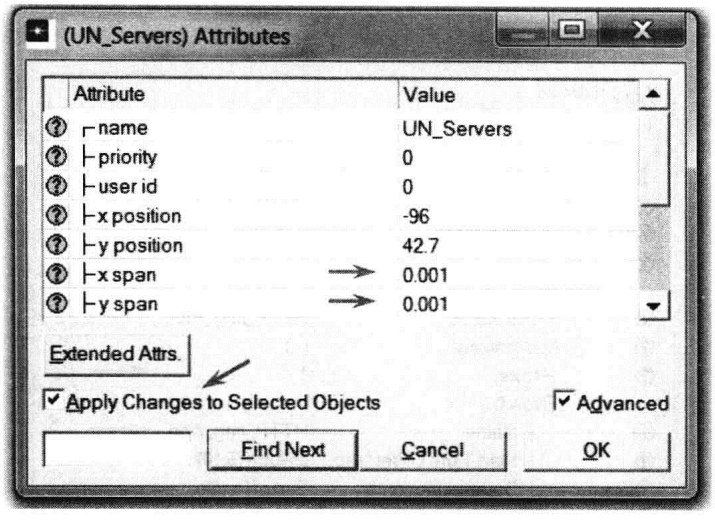
配置主要的网络

1）现在，“**对象面板**”（Object Palette）对话框应该位于该工程工作区的顶部。如果不是，请单击按钮打开它。在“**对象面板**”的下拉菜单中选择“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）。在面板上添加两个子网、一个“**应用配置**”（Application Config）和一个“**业务规格配置**”（Profile Config）。

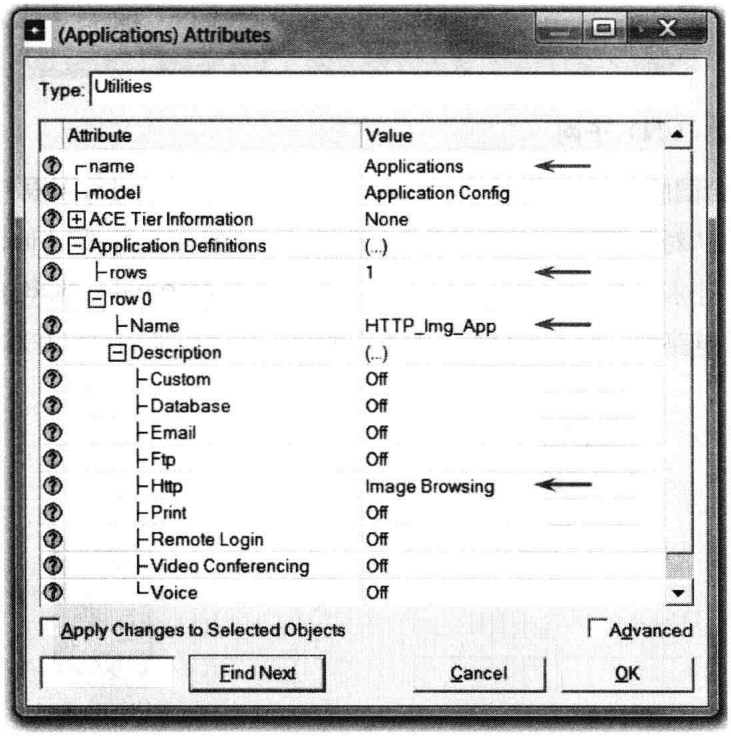
2）如下图所示，放置添加的对象并对其重命名。



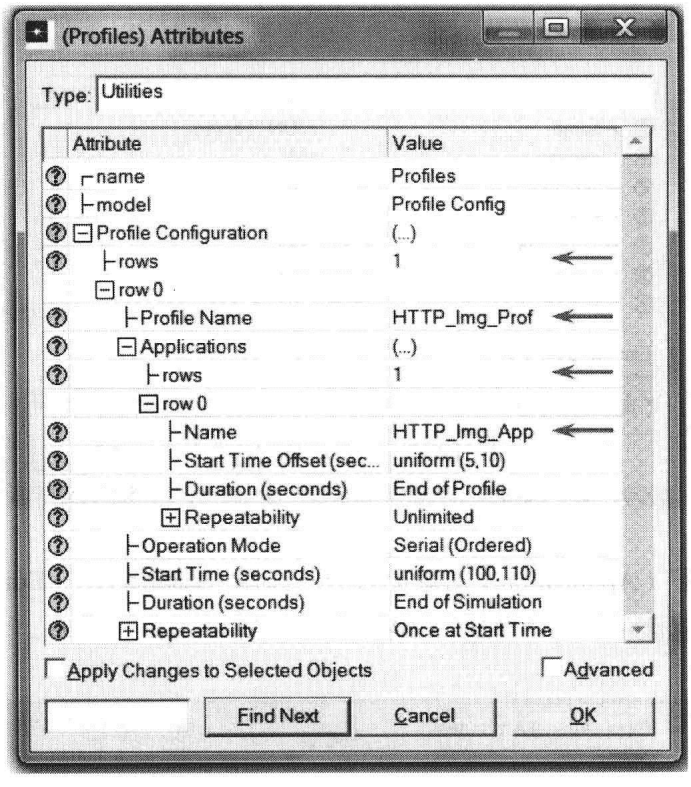
3）同时选择两个子网→在其中一个子网上右击，选择“**高级编辑属性**”（Advanced Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框 →如下图所示，把“**x 范围**”（x Span）和“**y 范围**”（y Span）分别设置为 0.001 →单击“**确定**”（OK）。



4）在“**应用**”（Application）对象上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→如下图所示，修改属性→单击“**确定**”（OK）→“**保存**”（Save）工程。

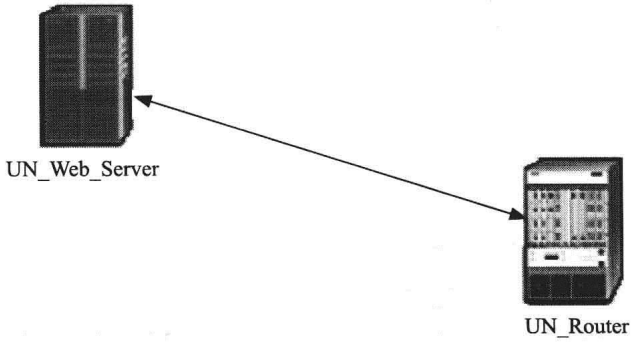


5）在“**业务规格**”（Profiles）对象上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→如下图所示，修改属性→单击“**确定**”（OK）。

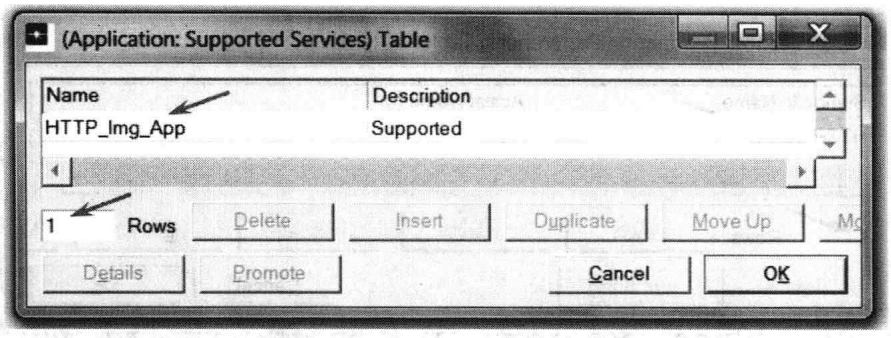


配置联合国（UN）子网

1）在“**联合国服务器子网**”UN_Servers 上双击→打开“**对象面板**”（Object Palette）对话框，确保在“**对象面板**”的下拉菜单中选择了“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）→为工作区添加一个服务器 ethernet_server、一个路由器 ethernet4_slip8_gtwy，然后使用一个 100BaseT 链路把它们连接起来→如下图所示，放置添加的对象并对其重命名。



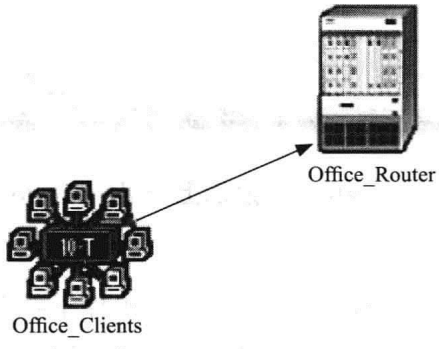
2）在“**联合国 Web 服务器**”UN_Web_Server 上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把服务器地址的值设置为 UN_Web_Server →单击“**应用：支持的服务**”（Application:Supported Services）属性→选择“**编辑**”（Edit）→如下图所示，修改属性。



3）单击“**确定**”（OK）两次→单击“**返回上一级**”（Go to the higher level）按钮。

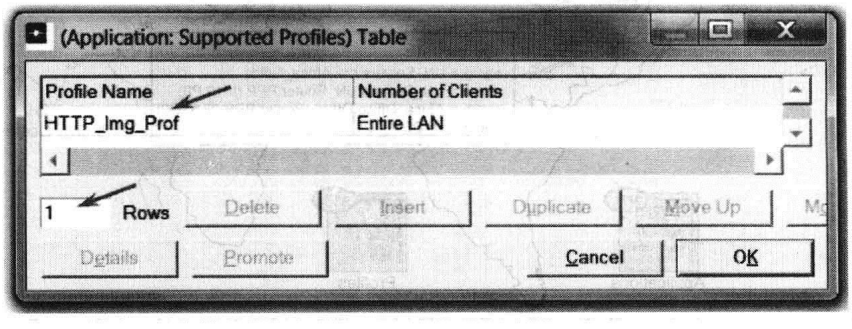
配置非洲（Africa）子网

1）在“**非洲办公室子网**”Africa_Office 上双击→打开“**对象面板**”（Object Palette）对话框，确保下拉菜单中选择了“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）→为工作区添加一个局域网 10BaseT_LAN、一个路由器 ethernet4_slip8_gtwy，然后使用一个 100BaseT 链路把它们连接起来→如下图所示，放置添加的对象并对其重命名。

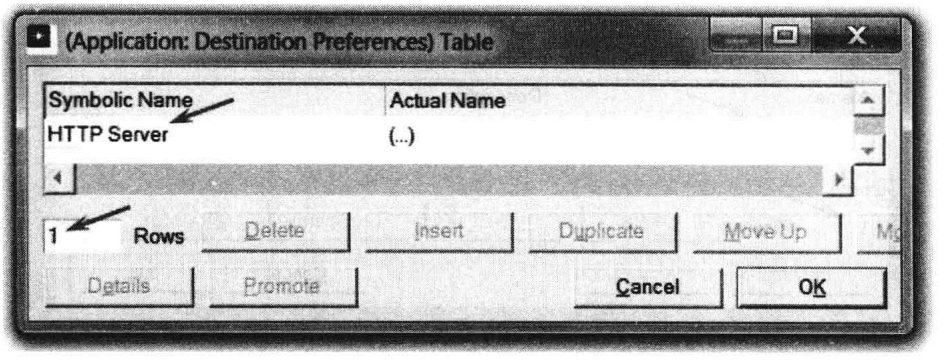


2）在“**办公室客户端局域网**”Office_Clients 上右击 →选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**工作站数量**”（Number of Workstations）属性设置为 50。

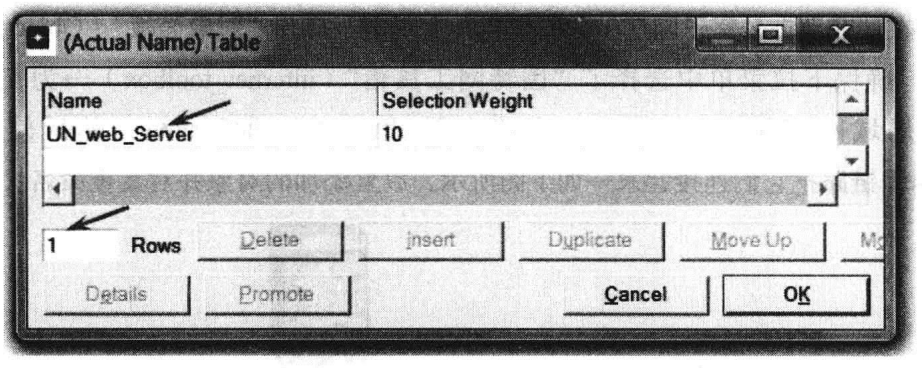
3）单击“**应用：支持的业务规格**”（Application: Supported Profiles）属性值→选择“**编辑**”（Edit）→如下图所示，修改属性→单击“**确定**”（OK）。



4）单击“**应用：目的地偏好**”（Application: Destination Preferences）属性→选择“**编辑**”（Edit）→如下图所示，修改属性。



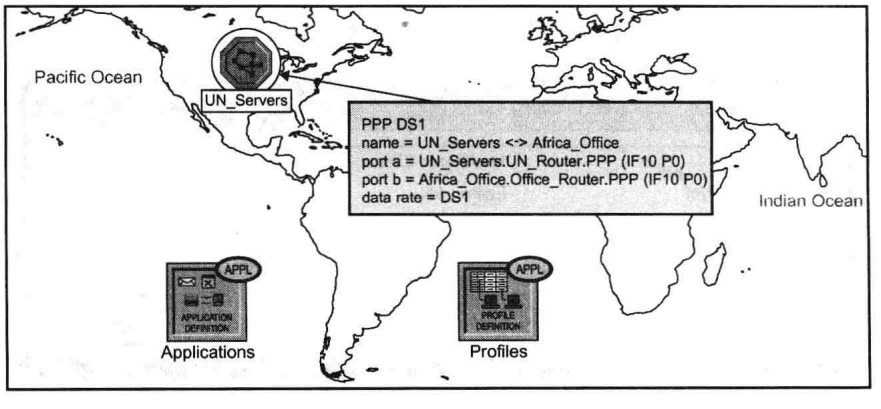
5）单击“**实际名称**”（Actual Name）值→如下图所示，修改属性。



6）单击“**确定**”（OK）3 次→单击“**返回上一级**”（Go to the higher level）按钮。

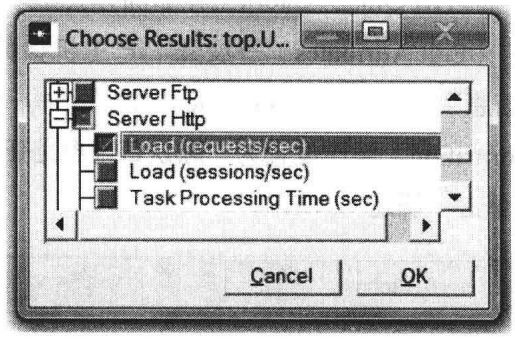
连接子网

打开“**对象面板**”（Object Palette）对话框，确保下拉菜单中选择了“**因特网工具箱**”（internet_toolbox）→使用一个 PPP_DS1 链路把两个子网连接起来。确保选择两个子网中的路由器，使其分别代表链路中的节点 node a 和 node b →单击“**确定**”（OK）。

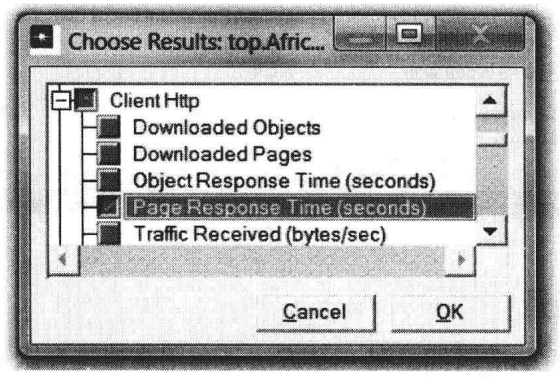


选择统计量

1）在“**联合国 Web 服务器**” UN_Web_Server（在联合国服务器子网 UN_Servers 内）上右击→从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→如下图所示，在“**服务器 HTTP**”（Server Http）层次结构中，选择“**负载（请求 / 秒）**”（Load(requests/sec)）统计量→单击“**确定**”（OK）。



2）在“**办公室客户端局域网**” Office_Clients（在非洲办公室子网 Africa_Office 内）上右击→从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）→如下图所示，在“**客户端 HTTP**”（Client Http）层次结构中，选择“**网页响应时间（秒）**”（Page Response Time(seconds)）统计量→单击“**确定**”（OK）。



3）“**保存**”（Save）工程。

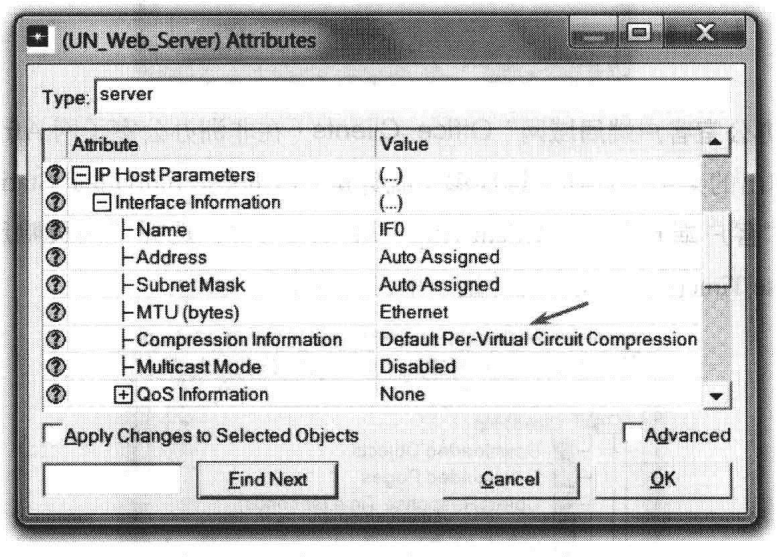
NoCache_Comp 场景

在我们刚刚创建的网络中，非洲办公室子网 Africa_Office 中的客户端可以访问联合国服务器子网 UN_Servers 中的 Web 服务器。由于两个子网之间的链路比较慢，要改善访问 Web 网页的响应时间，我们将要为同样的网络创建另一个场景，在这个场景中，我们将压缩 IP 数据报中的有效载荷。在 OPNET 中，压缩有效载荷指的是每虚电路压缩。

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 NoCache_Comp →单击“**确定**”（OK）。

2）在新场景中，在“**联合国 Web 服务器**”UN_Web_Server（在联合国服务器子网 UN_Servers 内）上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**IP 主机参数**”（IP Host Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构→如下图所示，将“**压缩信息**”（Compression Information）属性设置为“**默认每虚电路压缩**”（Default Per-Virtual Circuit Compression）→单击“**确定**”（OK）。

3）在**办公室客户端局域网** Office_Client（在非洲办公室子网 Africa_Office 内）上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**IP 主机参数**”（IP Host Parameters）层次结构→展开“**接口信息**”（Interface Information）层次结构→如下图所示，将“**压缩信息**”（Compression Information）属性设置为“**默认每虚电路压缩**”（Default Per-Virtual Circuit Compression）→单击“**确定**”（OK）。

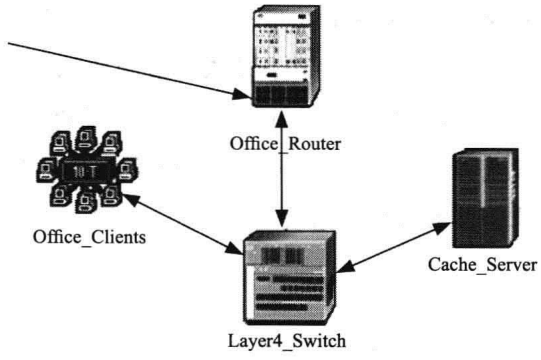


Cache_NoComp 场景

改善访问 Web 网页响应时间的另一个方法是利用高速缓存服务器。

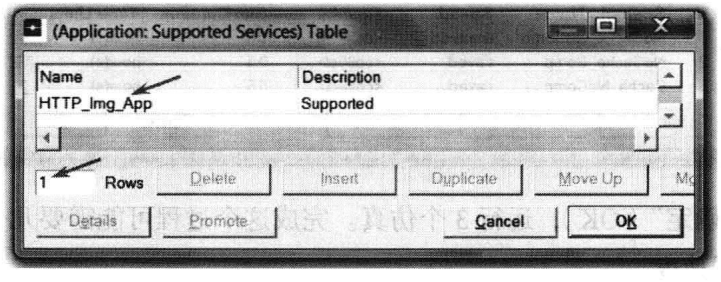
1）按 Ctrl+1，到第一个场景（NoCache_Comp 场景）→在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 Cache_NoComp →单击“**确定**”（OK）。

2）到**非洲办公室子网** Africa_Office 中→删除办公室客户端局域网 Office_Client 和路由器 Office_Router 之间的链路→打开“**对象面板**”（Object Palette）对话框，确保在下拉菜单中选择了交换机 Layer_4_switch →把一个交换机 ethernet64_layer4_switch、一个服务器 ethernet_cache_server 添加到工作区中，使用一条 100BaseT 链路（在链路面板中有）把它们连接起来→如下图所示，放置、连接并且重命名所添加的对象。

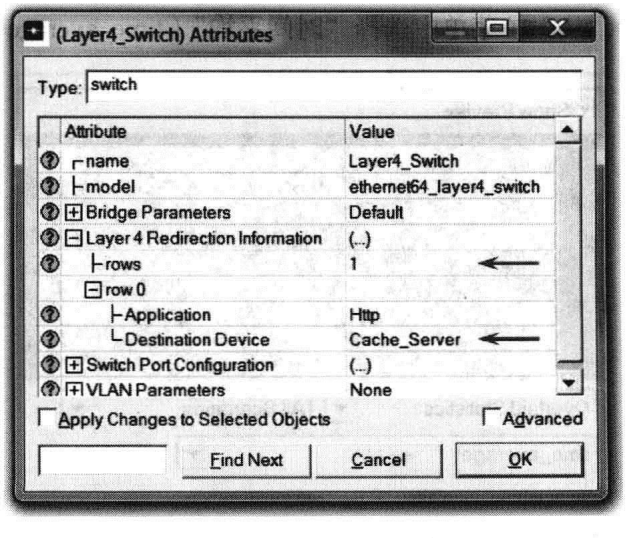


3）在高速缓存服务器 Cache_Server 上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把服务器地址设置为 Cache_Server →把“**高速缓存命中率**”（Cache Hit Rate）属性设置为 75%。

4）单击“**应用：支持的服务**”（Application:Supported Services）属性→选择“**编辑**”（Edit）→如下图所示，修改属性→单击“**确定**”（OK）两次。



5）在交换机 Layer4_Switch 上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→如下图所示，设置“**第 4 层重定向信息**”（Layer 4 Redirection Information）层次结构的值→单击“**确定**”（OK）。



有益提示　第 4 层交换机（Layer 4 Switch）能够基于应用协议对应用流量进行重定向。通常我们使用这种交换机，并结合 HTTP 流来对透明的 Web 高速缓存场景进行仿真。

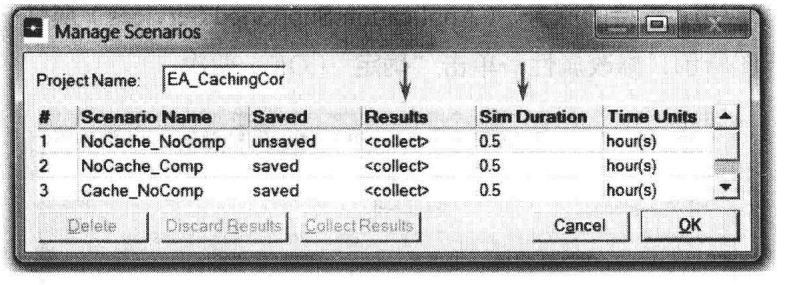
高速缓存命中率（Cache Hit Rate）决定对象从高速缓存服务器直接返回到客户端的频率。如果一个对象没有命中，那么缓存服务器将会打开到目的服务器的一个 HTTP 会话，从那里获取该对象，然后转发给客户端。

运行仿真

请按以下步骤同时运行三个场景的仿真：

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）把 3 个场景中“**结果**”（Results）栏中的值改为 **<collect>**（或者 **<recollect>**）。如下图所示，把“**仿真持续时间**”（Sim Duration）的值设置为 **0.5 小时**。



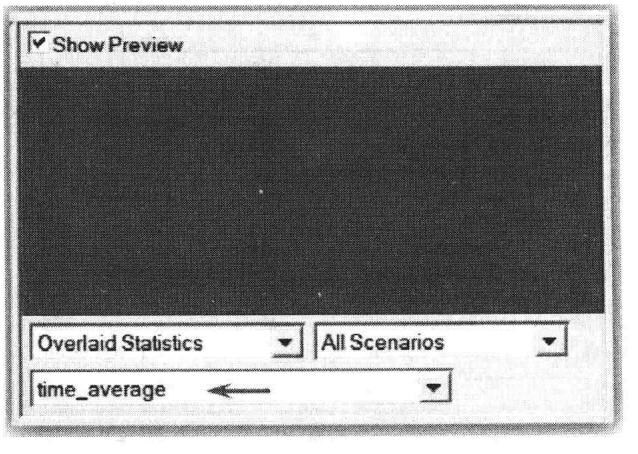
3）单击“**确定**”（OK），运行 3 个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

4）3 个仿真运行完毕以后，在每一个场景中，单击“**关闭**”（Close）。

观察结果

1）在“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

2）如下图所示，从下拉菜单中选择“**时间平均**”（time_average）。

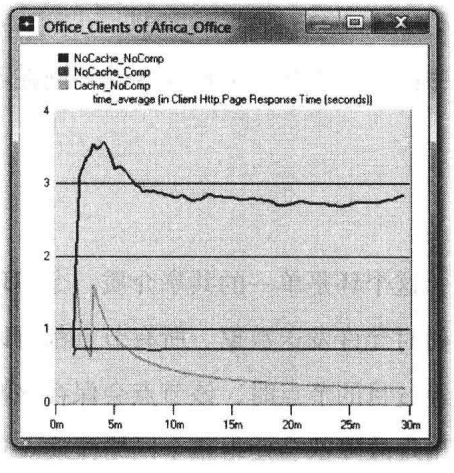


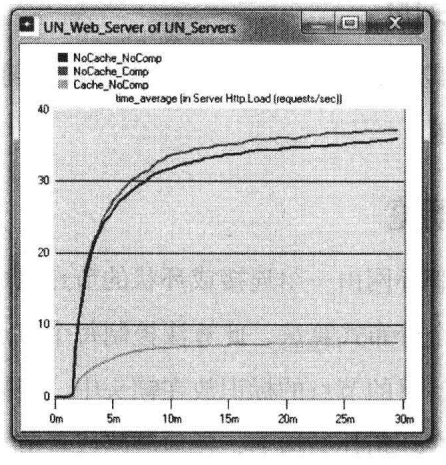
3）显示以下两个统计量的结果：

a. “对象统计量”（Object Statistics）→ 非洲办公室子网 Africa_Office →办公室客户端局域网 Office_Client → “客户端 HTTP”（Client Http）→ “网页响应时间（秒）”（Page Response Time(seconds)）。

b. “对象统计量”（Object Statistics）→联合国服务器子网 UN_Server →联合国 Web 服务器 UN_Web_Server → “服务器 HTTP”（Server Http）→ “负载（请求 / 秒）”（Load(requests/sec)）。

4）结果如下图所示。





进一步阅读

RFC 3173：IP 有效载荷压缩协议（IP Payload Compression Protocol，IPComp）http://tools.ietf.org/html/rfc3173 。

G. Barich and K. Obraczka: “World Wide Web caching: trends and techniques,” IEEE Communications Magazine, Vol. 38, No. 5, pp. 178–184, May 2000。

练习

1. 根据显示网页响应时间（秒）和负载（请求 / 秒）的结果图，解释这些统计量在不同仿真场景中的差异。
2. 创建第三个场景，将其命名为 Cache_Comp，在该场景中同时使用高速缓存服务器和压缩。收集相同的统计量，把它的结果与现有的结果进行对比。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

令牌环网

带有介质访问控制的共享网络

实验目的

本实验演示令牌环网的实现过程，实验中的仿真将帮助你检验令牌环网在不同场景下的性能。

实验概览

令牌环网由一组连接成环状的节点组成，这个环是单一的共享介质。令牌环网技术包含一个分布式算法，此算法控制每个节点何时允许发送数据。所有节点都可以查看所有的帧，目的节点的标识放在帧头中，当帧经过目的节点时，该节点会保存该帧的一个副本。在环拓扑结构下，任何链路或者节点出现故障都会使得整个网络瘫痪。这个问题可以通过使用星形拓扑来解决，星形拓扑中的节点与令牌环集线器相连接。令牌环集线器称为多站访问部件（Multi Station Access Unit，MSAU），它承担着中继的作用。因为需要方便、灵活、可靠地添加和删除节点，所以经常使用 MSAU。

“令牌”是一种沿着环循环的特殊位序列，每个节点接收并转发令牌。当一个需要传输帧的节点看到令牌时，便把令牌从环上取出，然后再把它的帧插入到环中；当帧返回到其发送节点时，发送节点再把帧从环中去除，然后重新把令牌插入到环中。令牌持有时间（Token Holding Time，THT）是指给定节点允许持有令牌的时间。从这个定义可以看出，THT 对网络的利用率和公平性均有影响。这里，网络利用率是指给定环中已用带宽与可用带宽的比值。

在本实验中，将建立一个令牌环网，它有按星形拓扑连接的 14 个节点，链路的数据传输率是 4Mbps。我们将研究网络负载以及令牌持有时间（THT）是如何影响网络利用率和延迟的。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 2.6 节。

实验步骤

创建新工程

请按如下步骤为令牌环网创建一个新工程：

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→ 在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project），单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 < your initials> _Token Ring，将场景命名为 Balanced →单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项 → 单击“**下一步**”（Next）→ 从“**网络规模**”（Network Scale）列表中选择“**办公室**”（Office）→单击“**下一步**”（Next）3 次→单击“**确定**”（OK）。

4）关闭“**对象面板**”（Object Palette）对话框，“**保存**”（Save）工程。

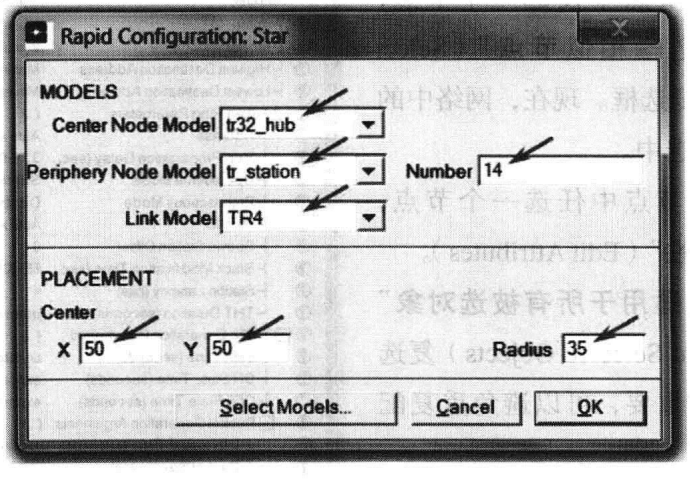
创建网络

请按如下步骤创建令牌环网：

1）选择“**拓扑**”（Topology）→“**快速配置**”（Rapid Configuration）。从下拉菜单中选择“**星形**”（Star），单击“**确定**”（OK）。

2）在“**快速配置**”（Rapid Configuration）对话框中单击“**选择模型**”（Select Models）按钮。从“**模型列表**”（Model List）下拉菜单中选择“**令牌环**”（token_ring），单击“**确定**”（OK）。

3）在“**快速配置**”（Rapid Configuration）对话框中，设置以下 6 个参数值，单击“**确定**”（OK）。

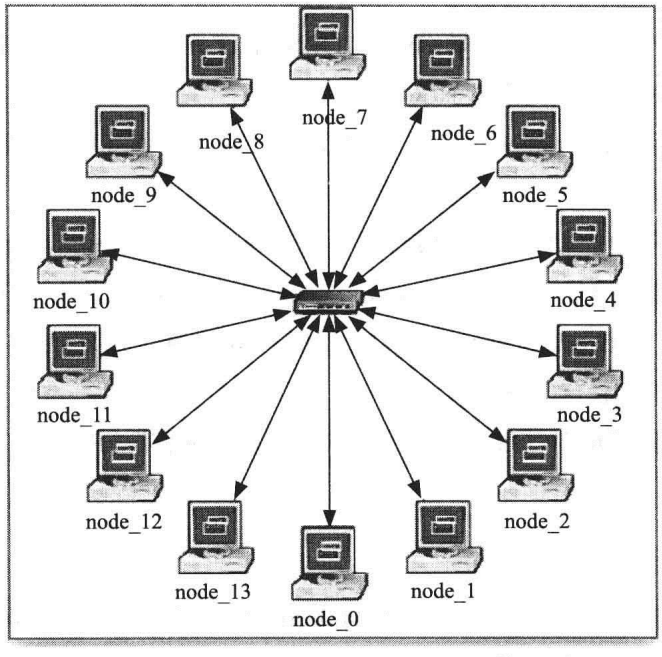


有益提示　tr32_hub 节点模型是一种令牌环集线器，它以 4Mbps 或者 16Mbps 的速率支持多达 32 个连接。该集线器向下一个输出端口转发到达的数据包。因为处理时间

为 0，所以在集线器上数据包无需排队等待。

TR4 link 连接两个令牌环设备形成一个工作在 4Mbps 上的环。

4）现在，已经创建了网络，此网络如下图所示。



配置网络节点

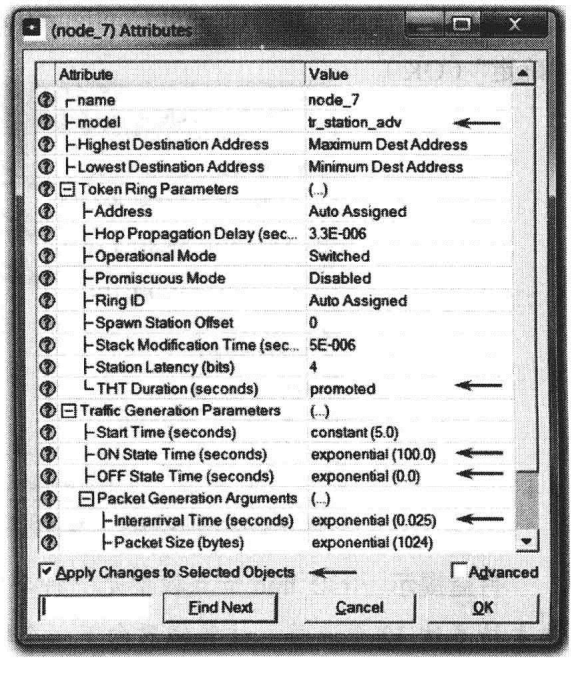
现在，将配置节点的令牌持有时间 THT 以及它们产生的流量。需要使用高级令牌环工作站 tr_station_adv 模型而不是当前的令牌环工作站 tr_station 模型来配置节点的令牌持有时间 THT。

1）在 14 个节点中任选一个节点，右击→选择“**选择相似节点**”（Select Similar Nodes）复选框。现在，网络中的所有节点都已被选中。

2）在 14 个节点中任选一个节点，右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）。

选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。这一步非常重要，可以避免重复配置每一个节点。

右图显示了我们将要在步骤 3 ~ 6 中改变的属性。



3）单击模型值：tr_station，从下拉菜单中选择“**编辑**”（Edit）。现在从扩展的下拉菜单中选择 tr_station_adv 模型。

4）必须“提升”（promote）令牌持有时间 THT，以检测不同令牌持有时间 THT 下的网络状况。这允许我们为令牌持有时间 THT 属性分配多个值。

a. 展开“**令牌环参数**”（Token Ring Parameters）层次结构。

b. 在“**THT 持续时间**”（THT Duration）属性上右击→选择“**提升属性到更高级别**”（Promote Attribute to Higher Level）。

5）展开“**流量生成参数**”（Traffic Generation Parameters）层次结构→把“**启动状态时间**”（ON State Time）的值改成“**均值 100 的指数分布**”（exponential（100））→把“**关闭状态时间**”（OFF State Time）的值改成“**均值 0 的指数分布**”（exponential（0））。（**注**：仅在“ON”状态时产生数据包。）

6）展开“**数据包生成参数**”（Packet Generation Arguments）的层次结构→把“**到达时间间隔**”（Interarrival Time）属性设置为“**均值 0.025 的指数分布**”（exponential（0.025））。

7）单击“**确定**”（OK），返回到**工程编辑器**（Project Editor）页面。

8）“**保存**”（Save）工程。

有益提示　**令牌持有时间**（Token Holding Time，THT）指定了令牌环介质访问控制在释放令牌之前使用令牌的最长时间。

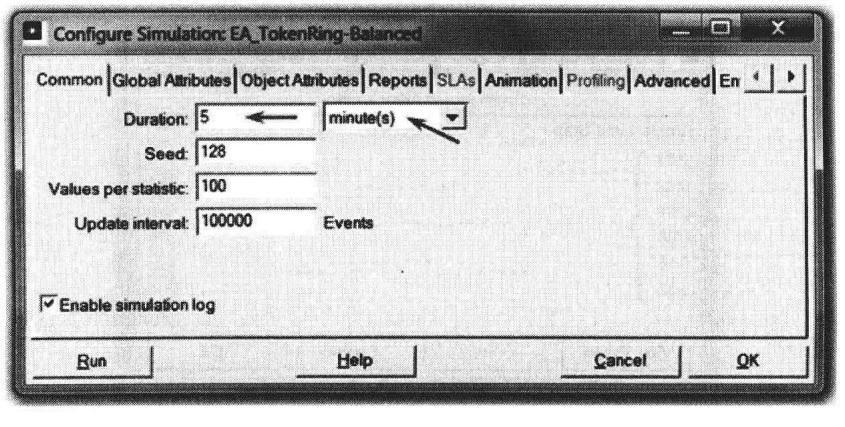
到达时间间隔（interarrival time）是在“ON”状态下相继两个数据包产生的时间间隔。

配置仿真

需要通过改变每一次仿真的令牌持有时间来多次运行仿真，以检查在不同令牌持有时间下的网络性能。有一种简单易行的方法可以达到这个目的。回想一下，我们提升了 **THT 持续时间**（THT Duration）的属性。现在，我们将为该属性分配不同的值。

1）单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮。

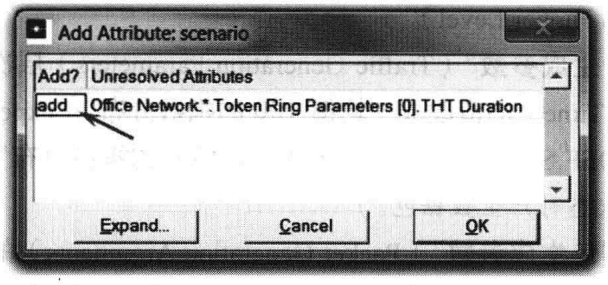
2）确保选择了“**通用**”（Common）标签→把仿真“**持续时间**”（Duration）设置为 **5 分钟**（5 minutes）。



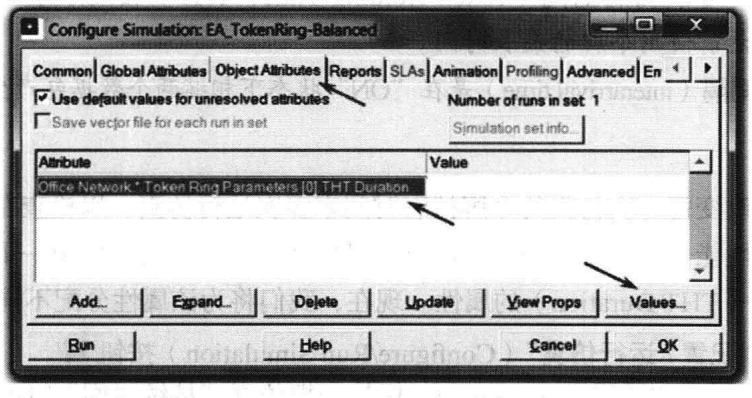
3）单击“**对象属性**”（Object Attributes）标签→单击“**添加**”（Add）按钮。

4）如下图“**添加属性**”（Add Attributes）对话框所示，为所有节点添加“**THT 持续时间**”（THT Duration）属性。按如下步骤：

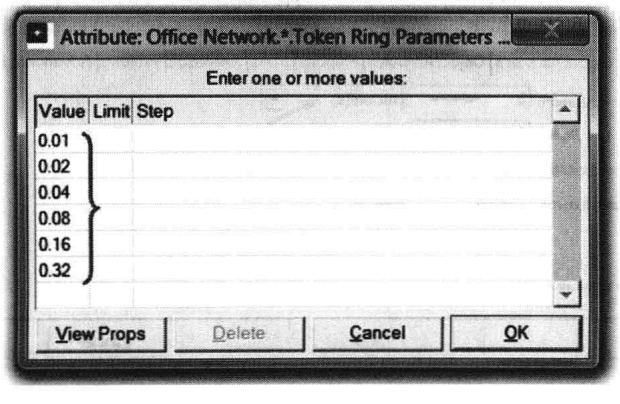
在“**添加**”（Add）栏下，单击相应的单元以添加未解析的属性（unresolved attribute）：“**办公室网络令牌环参数 THT 持续时间**”（Office Network.*.Token Ring Parameters[0]. THT Duration）→单击“**确定**”（OK）。



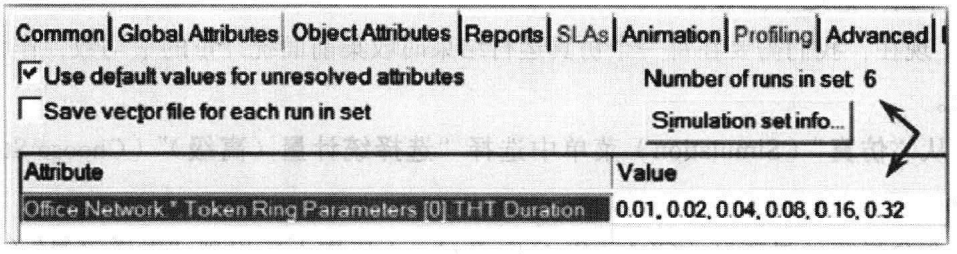
5）现在，你应该在仿真对象属性列表中看到“**办公室网络令牌环参数 THT 持续时间**”（Office Network.*.Token Ring Parameters[0].THT Duration）。（展开“**属性**”（Attribute）栏，可以看到属性的完整名称）。单击那个属性→如下图所示，单击“**值**”（Values）按钮。



6）添加以下 6 个值。（**注**：双击“**值**”（Value）栏中的第一个单元，添加第一个值→在文本框中输入 0.01。为所有的 6 个值重复以上步骤。）

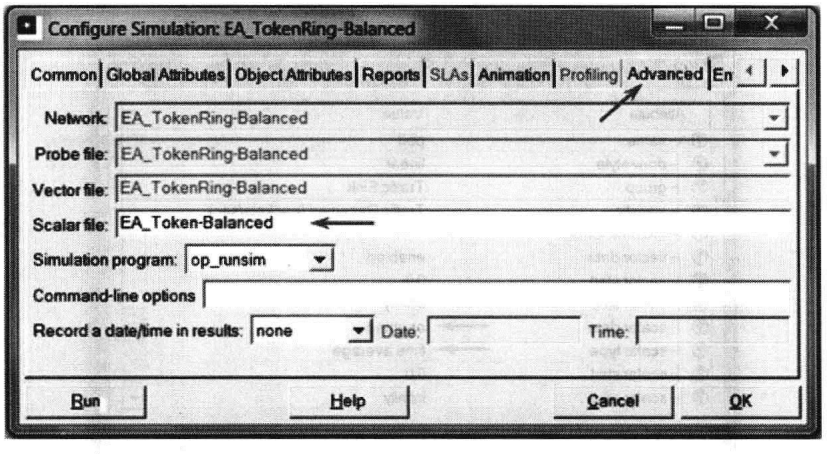


7）单击“**确定**”（OK）。现在，请看“**仿真配置**”（Simulation Configuration）对话框的右上角，确保“**这组仿真的运行次数**”（Number of runs in set）是 6。



8）对于运行的 6 个仿真，我们需要仿真器保存“标量”（scalar）值，该值代表所收集的统计量的“平均值”。为了保存这个标量值，我们需要配置仿真器，把它们保存在一个文件中。在“**配置仿真**”（Configure Simulation）对话框中，单击“**高级**”（Advanced）标签。

9）把“**标量文件**”（Scalar file）文本域设置为 <your initials>_Token-Balanced。



10）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

选择统计量

在仿真时，按如下步骤选择统计量：

1）在工程工作区的任何区域（但不在任一节点或者链路上）右击，从弹出的菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

a. 展开“**全局统计量**”（Global Statistics）层次结构：

- 展开“**流量接收端**”（Traffic Sink）层次结构→选择“**接收流量（数据包 / 秒）**”（Traffic Received（packets/sec））。
- 展开“**流量发送端**”（Traffic Source）层次结构 → 选择“**发送流量（数据包 / 秒）**”（Traffic Sent（packets/sec））。

- 展开“**节点统计量**”（Node Statistics）层次结构→展开“**令牌环**”（Token Ring）层次结构→选择“**利用率**”（Utilization）。

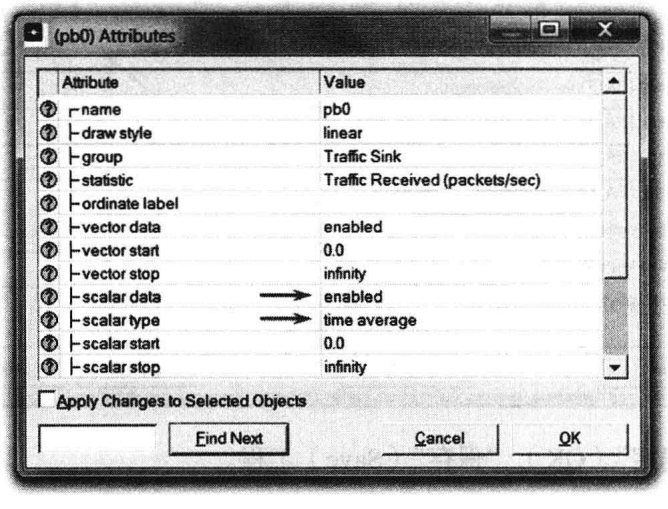
b. 单击“**确定**”（OK）。

2）现在，我们需要在每一个仿真运行结束时收集前面统计量的平均数，作为一个标量值。

a. 从“**仿真**”（Simulation）菜单中选择“**选择统计量（高级）**”（Choose Statistics（Advanced））。

b. 在全局统计量探针（Global Statistic Probes）层次下应出现“**发送流量**”（Traffic Sent）和“**接收流量**”（Traffic Received）探针。“**利用率**”（Utilization）探针应该出现在节点统计量探针下面。

c. 在“**接收流量**”（Traffic Received）探针上右击 →“**编辑属性**”（Edit Attributes），把“**标量数据**”（scalar data）属性设置为“**有效的**”（enabled）→ 把“**标量类型**”（scalar type）属性设置为“**时间平均**”（time average）→ 与下图进行比较，单击“**确定**”（OK）。



d. 对“**接收流量**”（Traffic Received）探针和“**利用率**”（Utilization）探针重复前面的步骤。

有益提示　利用率（utilization）*是指给定环中已用带宽与可用带宽的比值。*

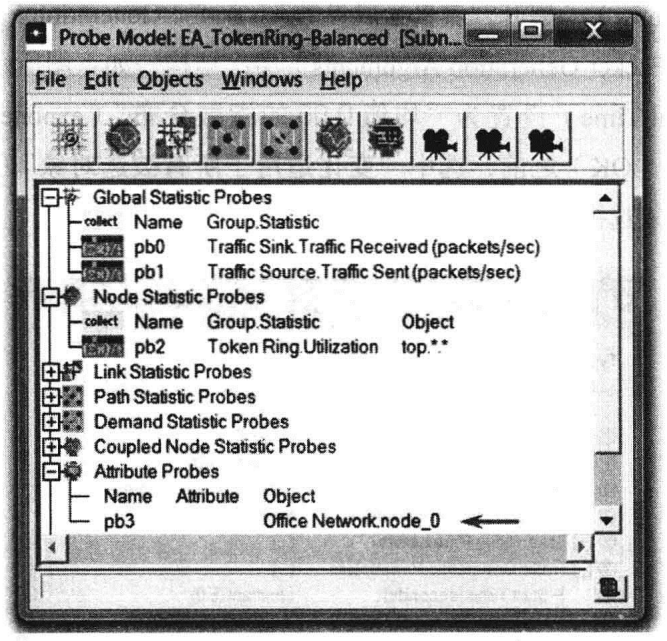
探针（probe）*表示用户收集仿真中特定数据片段的一个请求。*

3）因为我们需要分析令牌持有时间对网络性能的影响，所以，必须添加令牌持有时间，在仿真中把它作为一个“输入”统计量记录下来。请按如下步骤：

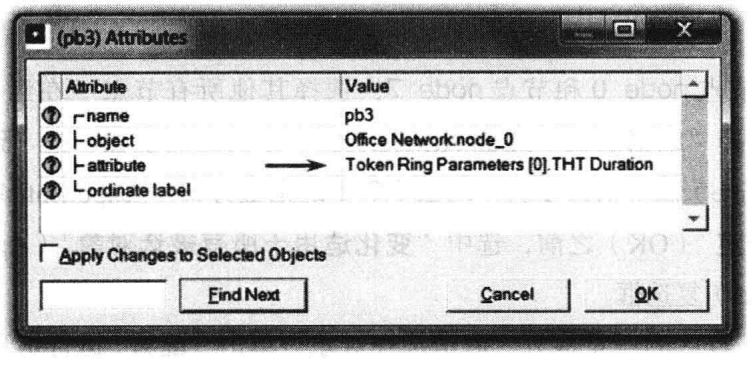
a. 从“**对象**”（Objects）菜单中选择“**创建属性探针**”（Create Attribute Probe）。现在，在“**属性探针**”（Attribute Probes）层次结构下创建了一个新的属性，如下图所示。

b. 在新属性探针上右击，从弹出的菜单中选择“**选择归属对象**”（Choose Attributed

Object）→展开“**办公室网络**”（Office Network）层次结构→单击节点 node_0（事实上，你可以选择任一网络节点）→单击“**确定**”（OK）。



c. 再一次在新属性探针上右击，从下拉菜单上选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→如下图所示，把“**属性**”（attribute）的值设置为“**令牌环的第 0 个参数 THT 持续时间**”（Token Ring Parameters[0].THT Duration）值→单击“**确定**”（OK）。



4）在“**探针模型**”（Probe Model）窗口的“**文件**”（File）菜单中选择“**保存**”（Save），然后“**关闭**”（Close）窗口。

5）现在，返回到“**工程编辑器**”（Project Edition）。确保已经“**保存**”（Save）工程。

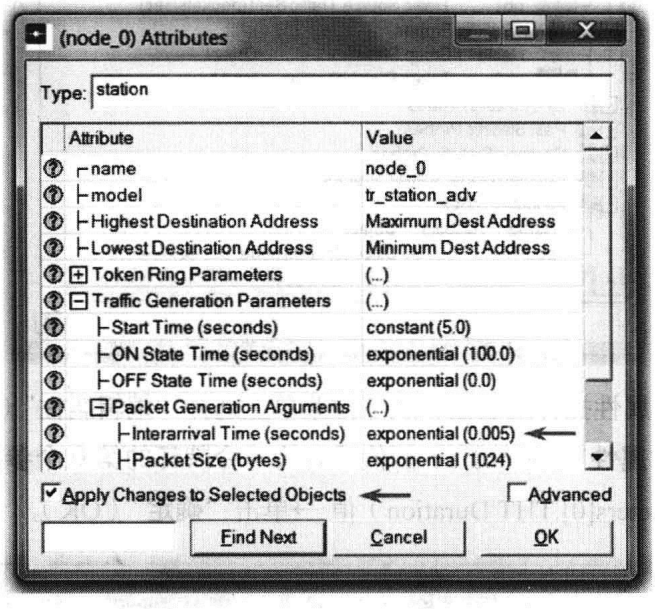
复制场景

我们刚刚实现的令牌环网场景是“**平衡的**”（balanced）：所有节点中生成流量的分布是相同的。为了对比性能，创建一个“**不平衡的**”（unblanced）场景：

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命

名为 Unbalanced →单击“**确定**”（OK）。

2）同时选中节点 node_0 和节点 node_7 →在其中任一节点上右击，选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**流量生成参数**”（Traffic Generation Parameters）和“**数据包生成参数**”（Packet Generation Arguments）层次结构→如下图所示，把“**到达时间间隔**”（Interarrival Time）设置为“**均值 0.05 的指数分布**”（exponential（0.05））。确保在单击“**确定**”（OK）之前，选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。



3）除了节点 node_0 和节点 node_7，选择其他所有节点→在已选择的任一节点上右击，选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→如前面的步骤，把“**到达时间间隔**”（Interarrival Time）属性值改变为“**均值 0.075 的指数分布**”（exponential（0.075））。确保在单击“**确定**”（OK）之前，选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

4）单击工程区的任意地方，取消选择对象→单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮→单击“**配置仿真**”（Configure Simulation）对话框的“**高级**”（Advanced）标签→把“**标量文件**”（Scalar file）文本域设置为 <your initials>_Token-unbalanced。

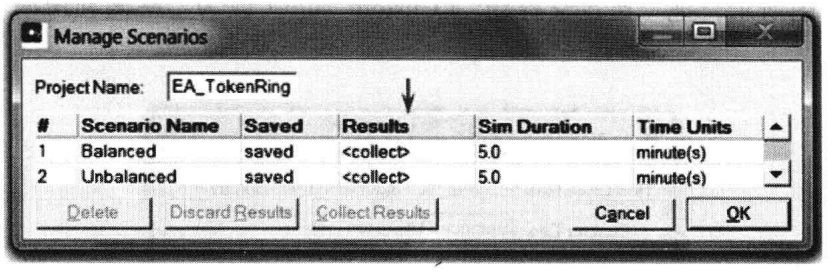
5）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

运行仿真

请按如下步骤同时运行两个场景的仿真：

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）把两个场景中“**结果**”（Results）栏中的值改为 <collect>（或者 <recollect>）。与下图进行比较。



3）单击“**确定**”（OK），运行仿真，完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

4）这 12 个（每个场景 6 个）仿真运行完成以后，单击“**关闭**”（Close）。

5）“**保存**”（Save）工程。

当再次运行仿真时，OPNET IT Guru 将会把新结果添加到标量文件已有的结果中。为了避免这种情况发生，在开始重新运行之前，删除标量文件。（**注**：*如果这是第一次运行，不要执行下列步骤。*）

- 选择“**文件**”（File）菜单→选择“**模型文件**”（Model Files）→“**删除模型文件**”（Delete Model Files）→从列表中，选择“**其他模型类型**”（other model types）→选择“**输出标量**”（(.os:) Output Scalars）→选择将要删除的标量文件，在本实验中，将要删除的标量文件是 <your initials>_Token–balanced 和 <your initials>_Token–unbalanced →单击“**关闭**”（Close）。

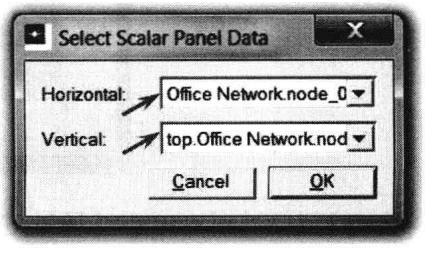
观察结果

请按如下步骤，查看并且分析结果：

1）从“**结果**”（Results）菜单中选择“**查看结果（高级）**”（View Results (Advanced)）。现在“**分析配置工具**”（Analysis Configuration）是打开的。

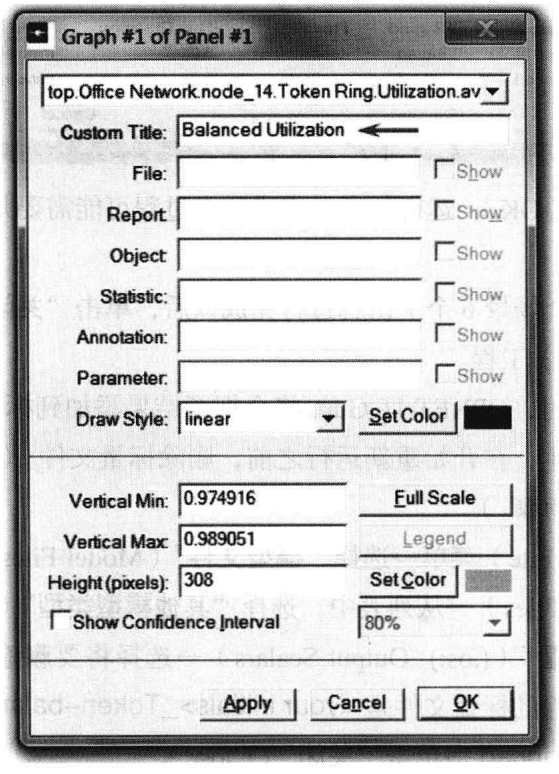
2）回想一下，我们在两个标量文件中分别为每一个场景保存了平均结果。从“**文件**”（File）菜单中选择“**加载输出标量文件**”（Load Output Scalar File），为 Balanced 场景加载标量文件→从下拉菜单中，选择 <your initials>_Token–balanced。

3）从“**面板**”（Panels）菜单中选择“**创建标量面板**”（Create Scalar Panel）→如下对话框所示选择标量面板数据：把“**横轴**”（Horizontal）设置为“**令牌持有时间**”（THT），把“**纵轴**”（Vertical）设置为“**利用率**”（Utilization）。（**注**：*若有数据丢失，确保在“选择统计量”部分执行步骤 2.c 和步骤 2.d。*）

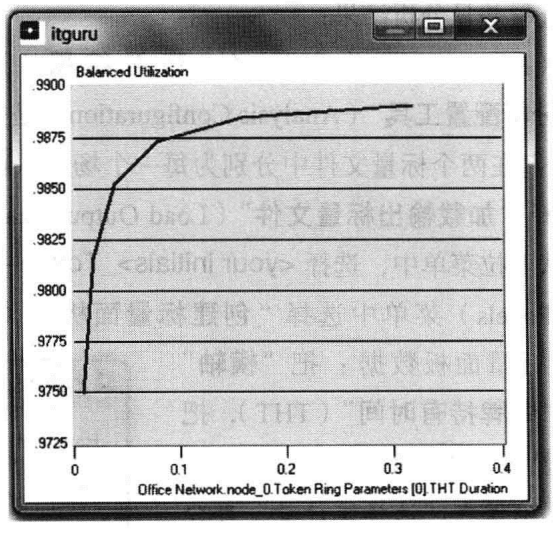


4）单击“**确定**”（OK）。

5）在图表区域上右击，选择“**编辑图表属性**”（Edit Graph Properties），改变图表标题→如下图所示，把“**自定义标题**”（Custom Title）改为“**平衡利用率**”（Balanced Utilization）。



6）单击“**确定**”（OK）。结果图如下图所示。不要关闭图表，继续完成下面的步骤。

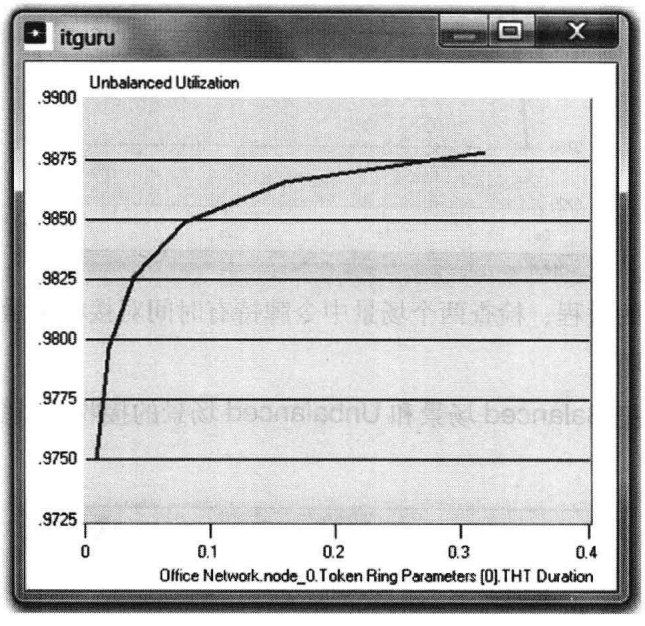


7）为了与 Balanced 场景进行比较，加载标量文件，从“**文件**”（File）菜单中选

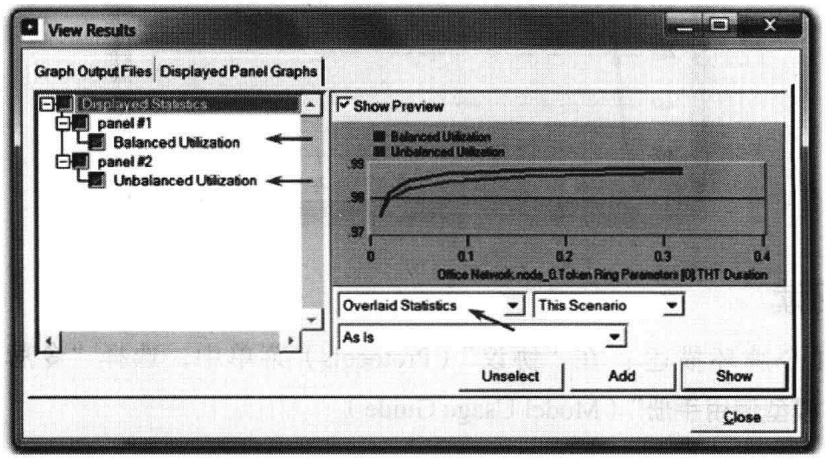
择“**加载输出标量文件**”（Load Output Scalar File）→从弹出的下拉菜单中选择 <your initials>_Token-Unbalanced。

8）从“**面板**”（Panels）菜单中选择“**创建标量面板**”（Create Scalar Panel）→如步骤 3，选择标量面板数据（Scalar Panel Data）。

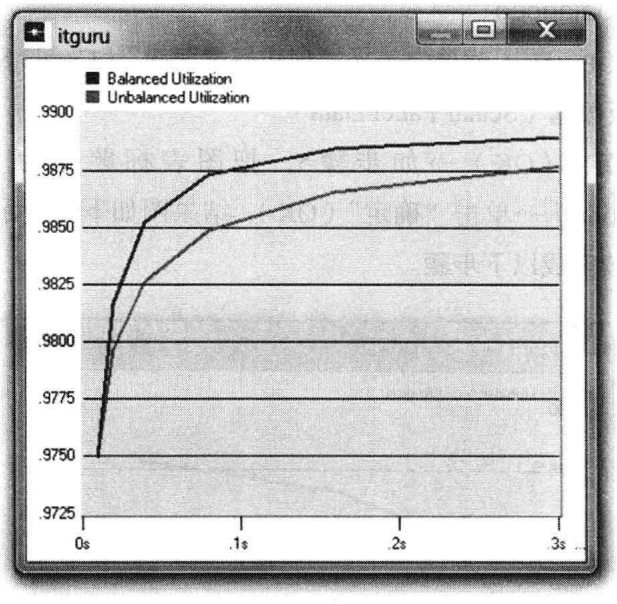
9）单击“**确定**”（OK）→如步骤 5，把图表标题改为“**不平衡利用率**”（Unbalanced Utilization）→单击“**确定**”（OK）。结果图如下图所示。不要关闭图表或者前一个图表，继续完成以下步骤。



10）从“**面板**”（Panels）菜单中，选择“**创建矢量面板**”（Create Vector Panel），把前面的两个图表合成为一个单独的图表→单击“**显示面板图表**”（Display Panel Graphs）标签→同时选择 Balanced 和 Unbalanced 的统计量 →如下图所示，在对话框的右下角区域的下拉菜单中选择“**重叠显示统计量**”（overlaid Statistics）。

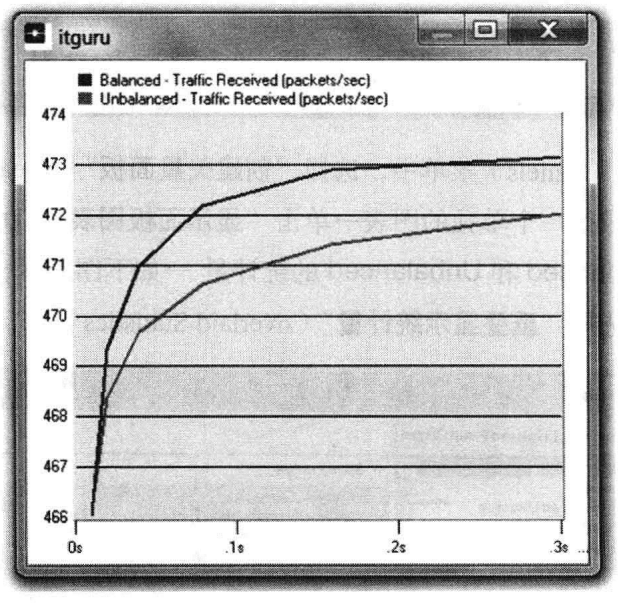


11）单击“**显示**”（Show），结果图如下图所示。



12）重复同样的过程，检查两个场景中令牌持有时间对接收流量所产生的影响。为图表设置恰当的标题。

13）此结果图把 Balanced 场景和 Unbalanced 场景的接收流量统计量结合在一起，如下图所示。



进一步阅读

OPNET 令牌环描述：在“**协议**”（Protocols）菜单中，选择“**令牌环**”（Token Ring）→“**模型使用手册**”（Model Usage Guide）。

练习

1. 为什么令牌持有时间值越高，利用率就会增加？
2. 创建一个与 Balanced 场景一样的场景，将其命名为 Q2_HalfLoad。在 Q2_HalfLoad 场景中，把网络负载（即网络中所有节点的负载）减少一半，重复仿真。比较 Balanced 场景与 Q2_HalfLoad 场景中利用率和接收流量。

   提示：

   - 成倍增加节点**数据包生成参数**（Packet Generation Arguments）的“间隔时间”（Interarrival Time），使得节点的负载减少一半。
   - 不要忘记为新场景设置一个单独的“标量文件”。
3. 创建一个与 Balanced 场景一样的场景，将其命名为 Q3_OneNode。在 Q3_OneNode 场景中，重新配置网络，使得节点 node_0 生成的流量负载与 Balanced 场景中所有节点生成的流量负载相等。其余节点（node_1 ~ node_13）都不生成流量。比较 Q3_OneNode 场景和 Balanced 场景中的利用率和接收流量。

   提示：

   - 配置节点使其不生成流量的方法是，把它的**启动时间**（Start Time）（**流量生成参数**（Traffic Generation Parameters）之一）设置为**从不**（Never）。
   - 不要忘记为新场景设置一个单独的“标量文件”。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。

异步传输模式

面向连接的信元交换技术

实验目的

本实验的目的是检验 ATM 适配层和服务类别对网络性能产生的影响。

实验概览

异步传输模式（Asynchronous Transfer Mode，ATM）是一种面向连接的包交换技术。在 ATM 网络中进行交换的包称为信元，它有 53 字节的固定长度，信元大小对于有效地携载语音流具有特殊的作用。ATM 适配层（ATM Adaptation Llayer，AAL）位于 ATM 和可变长度数据包协议（如 IP 协议）之间。AAL 头部包含目的地重组一个个信元为原始消息所需要的信息。由于 ATM 是设计用来支持各种类型的服务，包括语音、视频和数据，所以不同的服务具有不同的 AAL 需求，AAL1 和 AAL2 是用来支持需要保证一定位速率的应用（如语音）的，而 AAL3/4 和 AAL5 为运行在 ATM 上的包数据提供支持。

ATM 通过五类服务：CBR、VBR-rt、VBR-nrt、ABR 和 UBR 来提供服务质量 QoS。恒定位速率（Constant Bit Rate，CBR）：源端以恒定的速率传输业务流。CBR 非常适合于通常需要电路交换的语音流量，因此 CBR 对于电话公司来说是非常重要的。未指定的位速率（Unspecified Bit Rate, UBR）：ATM 的“尽力服务”。UBR 和尽力服务模型有一个小小的区别，因为 ATM 在发送数据之前通常需要一个信令阶段，UBR 允许源端指定数据发送的最大数据率，交换机利用这个信息来决定是否认可或者拒绝新的虚电路（Uirtual Circuit, VC）。

在本实验中，你将建立一个 ATM 网络来承载三类应用：语音、Email 以及 FTP。你将研究适配层的选择及服务类型是如何对应用性能产生影响的。

实验前的准备

📖 阅读《计算机网络：系统方法》第 5 版的 3.1 节和 6.5.3 节。

实验步骤

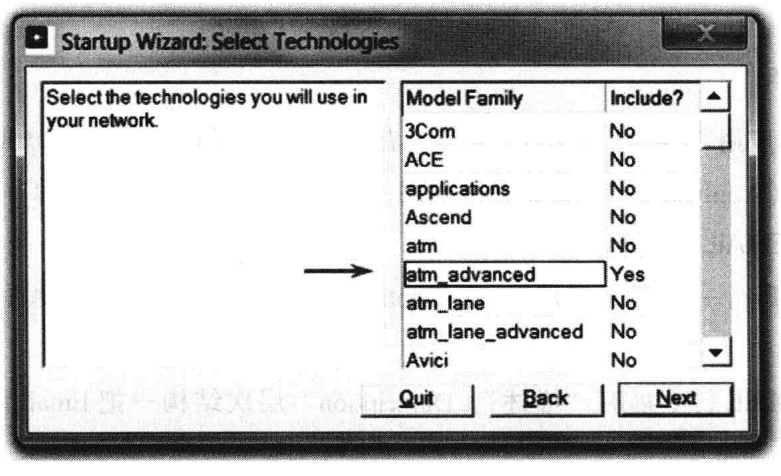
创建新工程

为 ATM 网络创建一个新工程：

1）启动“**OPNET IT Guru 学术版**”（OPNET IT Guru Academic Edition）→在“**文件**”（File）菜单中选择“**新建**”（New）。

2）选择“**工程**”（Project），单击“**确定**”（OK）→将工程命名为 <your initials>_ATM，将场景命名为 CBR_UBR →单击“**确定**”（OK）。

3）在“**启动向导：初始化拓扑结构**”（Startup Wizard：Initial Topology）对话框中，确保选择了“**创建空场景**”（Create Empty Scenario）选项→单击“**下一步**”（Next）→从“**网络范围**”（Network Scale）列表中选择“**选择从地图中选择**”（Choose From Maps）→单击“**下一步**”（Next）→从地图中选择“**美国**”（USA）→单击“**下一步**”（Next）→如下图所示，从“**选择技术**”（Select Technologies）列表中，把“**高级 ATM**”（atm_advanced）模型家族包括进来→单击“**下一步**”（Next）→“**确定**”（OK）。



创建和配置网络

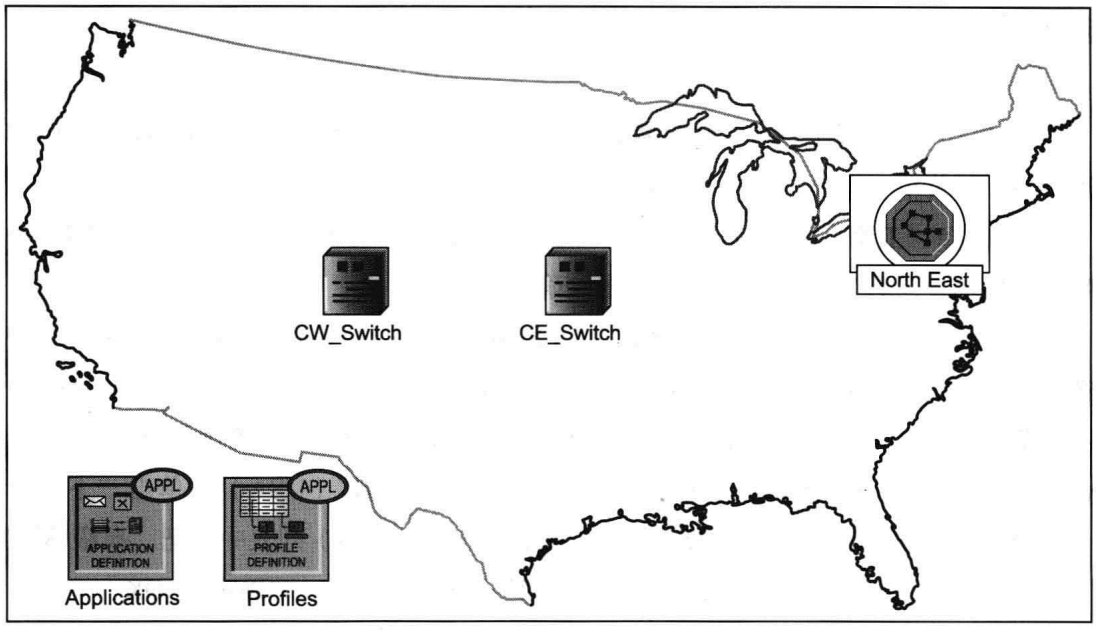
初始化网络

1）如果“**对象面板**”（Object Palette）没有打开，请打开它。确保从“**对象面板**”下拉菜单中选择“**高级 ATM**”（atm_advanced）。

2）从“**对象面板**”上为工程工作区添加如下对象：“**应用配置**”（Application Config）、“**业务规格配置**”（Profile Config）、两个交换机 atm8_crossconn_adv 和一个子网 subnet。

3）关闭“**对象面板**”对话框。如下图所示，重新给添加的对象命名（在节点上右

击→“**命名**”（Set Name）），然后“**保存**”（Save）工程。



配置应用

1）在“**应用**”（Applications）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**应用定义**”（Application Definitions）属性，把“**行数**”（rows）设置为 3 →把这些行命名为 FTP、EMAIL、VOICE。

a. 到 FTP 行→展开“**描述**”（Description）层次结构→把 FTP 设置为“**高负载**”（High Load）。

b. 到 EMAIL 行→展开“**描述**”（Description）层次结构→把 Email 设置为“**高负载**”（High Load）。

c. 到 VOICE 行→展开“**描述**”（Description）层次结构→把 VOICE 设置为“**脉冲编码调制语音质量**”（PCM Quality Speech）。

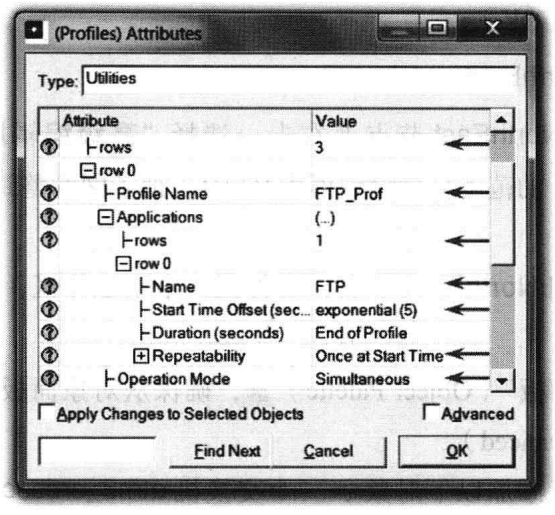
2）单击“**确定**”（OK）。

有益提示 PCM 即脉冲编码调制。这是语音在网络传输之前对其进行数字化的过程。

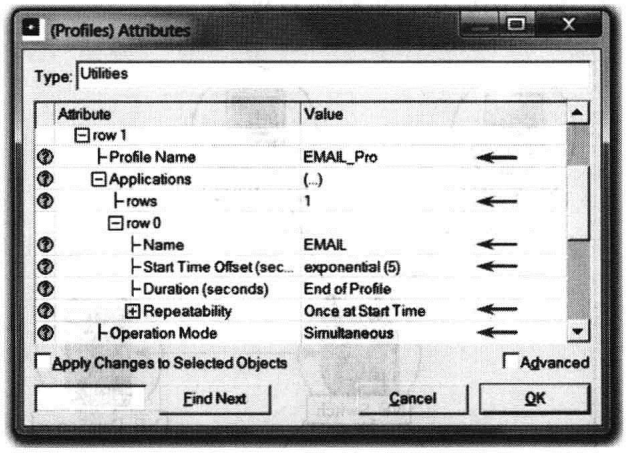
配置业务规格

1）在“**业务规格**”（Profiles）节点上右击→“**编辑属性**”（Edit Attributes）→展开“**业务规格配置**”（Profiles Configuration）属性，把“**行数**”（rows）设置为 3。

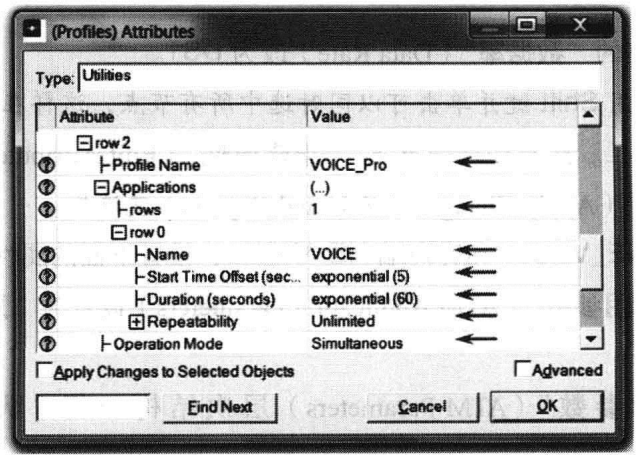
a. 如下图所示，对“**第 0 行**”（row 0）进行命名并设置其属性。



b. 如下图所示，对“**第 1 行**”（row 1）进行命名并设置其属性。



c. 如下图所示，对“**第 2 行**”（row 2）进行命名并设置其属性（**注：把“特殊值”**（Special Value）设置为“**不使用**”（Not Used），把“**持续时间**”（Duration）设置为“**均值 60 的指数分布**”（exponential(60)））。



2）单击“**确定**”（OK）。

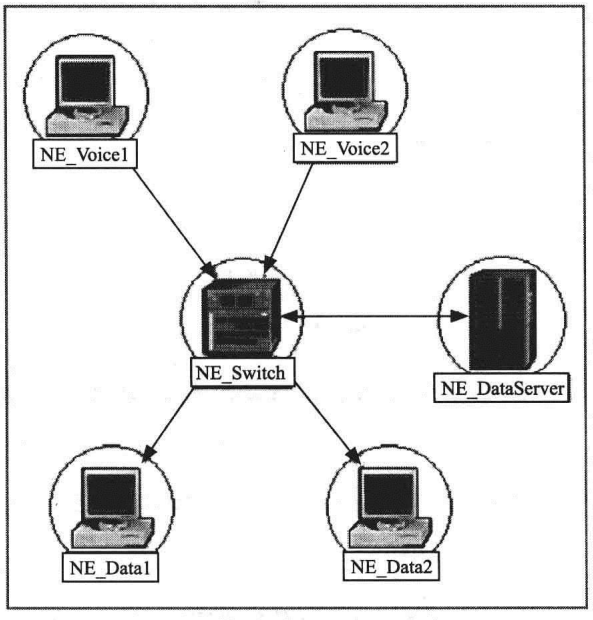
配置东北子网 NorthEast

1）在东北子网 NorthEast 节点上右击→选择“**高级编辑属性**”（Advanced Edit Attributes）→把 x 和 y 的范围分别设置值为 0.001（把子网调整到普通办公室大小）→单击“**确定**”（OK）。

2）双击东北子网 NorthEast 节点，将得到一个空工作区，表示子网不包含任何对象。

3）打开“**对象面板**”（Object Palette），确保从对象面板的下拉菜单中选择了“**高级 ATM**”（atm_advanced）。

4）往子网工作区添加以下对象：一个交换机 atm8_crosscnn_adv、一个服务器 atm_uni_server_adv、四个客户端 atm_uni_client_adv，用双向 atm_adv 链路把它们连接起来→关闭面板→如下图所示，重新命名对象。



5）把所有链路的“**数据率**”（Data Rate）改为 DS1。

有益提示 使用 Shift 键并单击可以同时选中所有节点，这样在一次操作中就可以编辑多个节点的属性。然后任选一节点，“**编辑属性**”（Edit Attributes），选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。

6）对客户端 NE_Voice1 和客户端 NE_Voice2，设置下面的属性：

a. 把“**ATM 应用参数**”（ATM Application Parameters）设置为“**只支持恒定位速率**”（CBR only）。

b. 展开“**ATM 参数**”（ATM Parameters）层次结构→把“**队列配置**”（Queue

Configuration）设置为“**只支持恒定位速率**”（CBR only）。

c. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Applications：Supported Profiles）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 1 →展开“**第 0 行**”（row 0）的层次结构→把“**业务规格名称**”（Profile Name）设置为 VOICE_Pro。

d. 展开“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）→编辑其值→把“**行数**”（rows）设置为 1 →把添加的行的名称设置为“**语音**”（VOICE）→单击“**确定**”（OK）。

e. 展开“**应用：传输协议**”（Application: Transport Protocol）层次结构→设置 Voice Transport=AAL2。

f. 单击“**确定**”（OK）。

7）在客户端 NE_Voice1 节点上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**客户端地址**”（Client Address）属性设置为 NE_Voice1 →单击“**确定**”（OK）。

8）在客户端 NE_Voice2 节点上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→把“**客户端地址**”（Client Address）属性设置为 NE_Voice2 →单击“**确定**”（OK）。

9）在服务器 NE_Data Server 节点上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→如下进行配置：

a. 展开“**应用：支持的服务**”（Application: Supported Services）→“**编辑**”（Edit）其值→把“**行数**”（rows）设置为 2 →把新添加行的“**名称**”（Name）分别设置为：EMAIL 和 FTP →单击“**确定**”（OK）。

b. 展开“**应用：传输协议规范**”（Application：Transport Protocol Specification）层次结构→设置 Voice Transport=AAL2。

c. 编辑“**服务器地址**”（Server Address）属性值，输入 NE_Dataserver。

d. 单击“**确定**”（OK）。

10）对客户端 NE_Data1 和客户端 NE_Data2，设置下面的属性：

a. 展开“**ATM 参数**”（ATM Parameters）层次结构→把“**队列配置**”（Queue Configuration）设置为 UBR。

b. 展开“**应用：支持的业务规格**”（Applications：Supported Profiles）层次结构→把“**行数**”（rows）设置为 2 →把“**第 0 行**”（row 0）的“**业务规格名称**”（Profile Name）设置为 FTP_Pro，把“**第 1 行**”（row 1）的“**业务规格名称**”（Profile Name）设置为 EMAIL_Pro。

11）对于客户端 NE_Data1，选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→编辑“**客户端地址**”（Client Address）属性值，输入 NE_Data1。

12）对于客户端 NE_Data2，选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→编辑“**客户端**

地址”（Client Address）属性值，输入 NE_Data2。

13）“**保存**”（Save）工程。

有益提示　客户端地址（Client Address）是节点的传输适配层（TPAL）地址。对于每一个节点来说，这个值是唯一的。

TPAL 模型表示应用和传输模型之间基本的统一的接口。与远程应用的所有交互通过 TPAL 组织成会话，一个会话是两个应用通过传输协议进行的交互。

队列配置（Queue Configuration）指定了输出端端口队列和其所支持的服务质量之间的一对一映射，可以配置某个特定的队列来支持某个特定的服务质量。

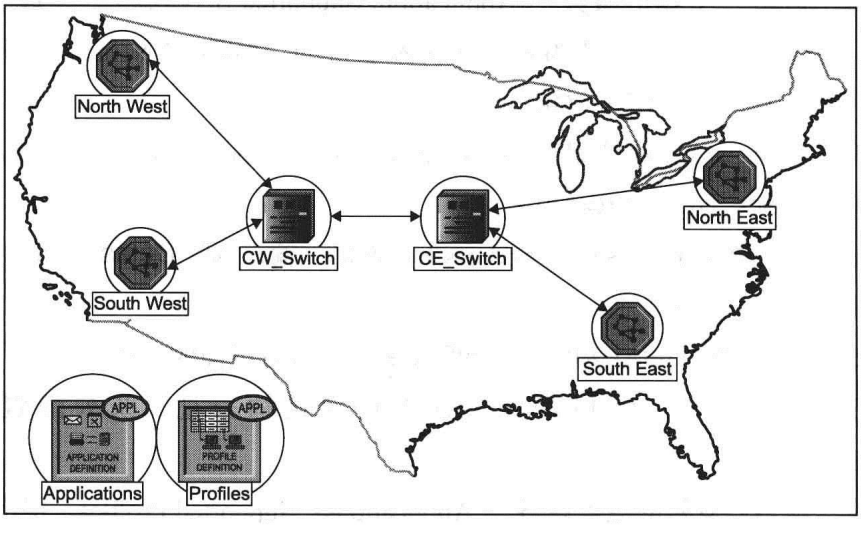
添加其余子网

1）现在，已经完成了东北子网 NorthEast 的配置。单击“**返回上一级**”（Go to the higher level）按钮，返回到工程区。

除了名称和客户地址，其他区域的子网应该与东北子网 NorthEast 相类似。

2）复制 3 个我们刚刚创建的子网。

3）重新命名子网（在子网节点上右击→“**命名**”（Set Name）），如下图所示，用双向 atm_adv 链路把这些子网和交换机连接起来。（**注**：需要把子网内的一个节点连接到链路上，确保连接的是每个子网内的“交换机”。）

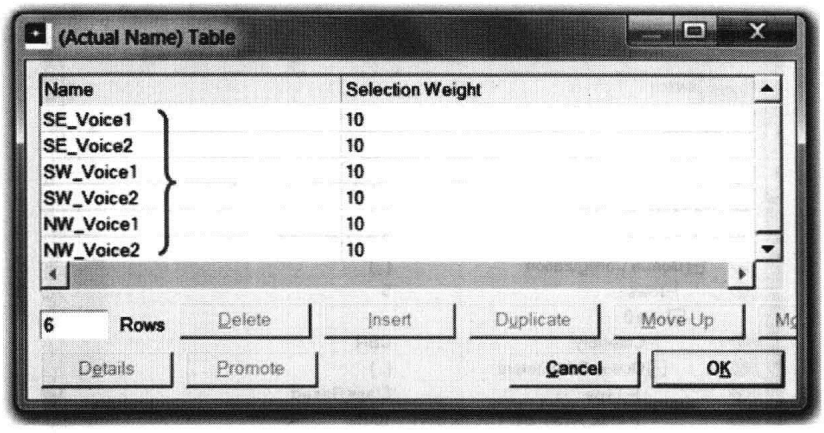


4）将所有链路的“**数据率**”（data rate）改为 DS1。

5）选择并且双击**每一个**新子网（一共 4 个子网），适当改变这些子网内部节点的“**名称**”（names）、“**客户端地址**”（client address）和“**服务器地址**”（server address）。（例如，用 SW 代替西南子网的 NE）

6）如下图所示，编辑所有子网中语音站（一共 8 个）的“**应用：目的地偏好**”（Applications: Destination Preferences）属性。

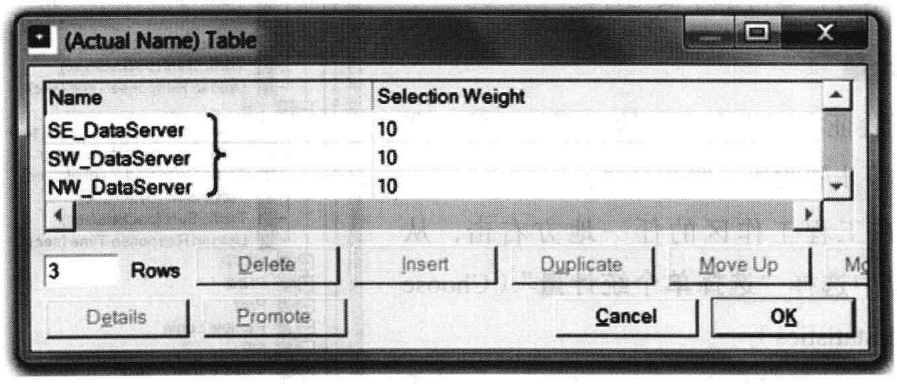
把“**行数**”（rows）设置为 1 →把“**符号名**”（Symbolic Name）设置为 Voice Destination →在“**实际名称**”（Actual Name）列下单击（...）→设置“**行数**”（rows）为 6 →对于每一个行，选择一个不在当前子网下的语音站。下图显示了东北子网 NorthEast 中某个语音站的实际名称。



有益提示　在任一“**语音**”（voice）站上右击，选择“**编辑相似节点**”（Edit Similar Nodes），完成步骤 6。此时弹出一张表格，在表格中，每一个节点占据一行。

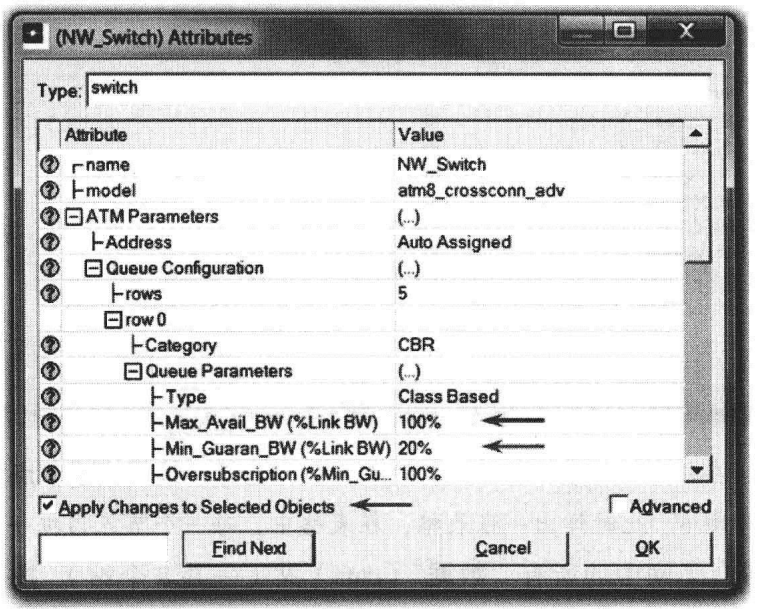
7）对于所有子网中的所有“**数据**”（data）站（一共 8 个站），按如下方式配置“**应用：目的地偏好**”（Applications: Destination Preferences）属性：

设置“**行数**”（rows）为 2 →把其中一个行的“**符号名**”（Symbolic Name）设置为 FTP Server，把另一个行的“**符号名**”（Symbolic Name）设置为 Email Server →对于每一个符号名称（即 FTP 服务器和电子邮件服务器），在“**实际名称**”（Actual Name）栏下单击（...）→设置“**行数**”（rows）为 3 →对于每一个行，选择一个不在当前子网下的数据服务器。下图显示了东北子网 NorthEast 中某个数据服务器的实际名称。



8）对于网络中的所有“**交换机**”（Switches）（一共 6 个交换机），如下图所示，把恒定位速率 CBR 队列的“**最大可达带宽**”（Max_Avail_BW）配置为 100%，把“**最小保证带宽**”（Min_Guaran_BW）配置为 20%。

有益提示 可以在任何交换机上右击菜单“**选择相似节点**”（Select Similar Nodes），完成步骤 8。然后选择“**编辑属性**”（Edit Attributes），选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。即使是在不同子网的对象中也可使用这个功能。



9）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

有益提示 Max_Avail_BW 是分配给这个队列的最大带宽。仅当带宽请求不超过最大可用带宽需求时，该请求才被允许进入队列。

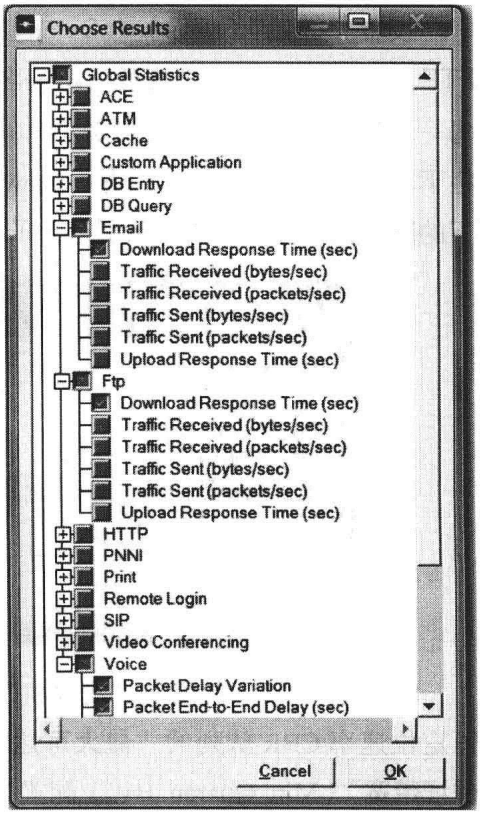
选择统计量

为了验证在网络中定义的应用的性能，我们将按如下步骤收集一些统计量：

1）在工程工作区的任一地方右击，从下拉菜单中选择“**选择单个统计量**”（Choose Individual Statistics）。

2）在“**选择结果**”（Choose Results）对话框中，选择右图显示的统计量。

3）单击“**确定**”（OK）。



配置仿真

现在，我们必须配置仿真的持续时间：

1）单击“**配置 / 运行仿真**”（Configure/Run Simulation）按钮。

2）把“**持续时间**”（duration）设置为 **10 分钟**（10 minutes）。

3）单击“**确定**”（OK），“**保存**”（Save）工程。

复制场景

在刚刚创建的网络中，我们为语音应用使用了 CBR 类服务，为 FTP 和 Email 应用使用了 UBR 类服务。为了分析不同类别服务的影响，我们将创建另外一个场景，此场景与我们刚才创建的 CBR_UBR 场景相似，但是仅仅为所有应用使用了一种类型的服务即 UBR。除此之外，为了在新场景中测试 ATM 适配层的影响，我们将为语音应用使用 AAL5 而不是 AAL2。

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中选择“**复制场景**”（Duplicate Scenario），将其命名为 UBR_UBR →单击“**确定**”（OK）。

2）对于所有子网中的所有语音站，重新配置如下。

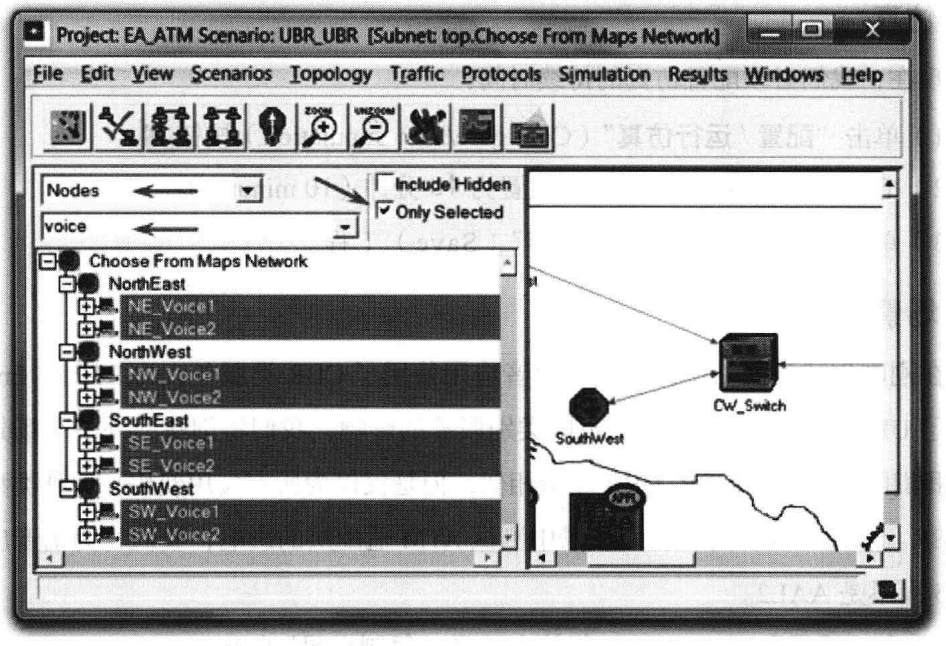
a. 把“**ATM 应用参数**”（ATM Application Parameters）设置为 UBR only。

b. 展开“**ATM 参数**”（ATM Parameters）层次结构→把“**队列配置**”（Queue Configuration）设置为 UBR。

c. 展开“**应用：传输协议**”（Application：Transport Protocol）→设置 Voice Transport=AAL5。

注：对前面的步骤 2 进行操作的一个简便的方法，如下所示通过网络浏览器：

- 从“**视图**”（View）菜单中选择“**显示网络浏览器**”（Show Network Browser）。
- 从下拉菜单中选择“**节点**”（Nodes），如下图所示，选中“**仅选中**”（Only Selected）复选框。
- 在查找域中输入“**语音**”（voice），按下“**回车**”（Enter）键。
- 在网络浏览器中，应该可以看到一张已选择的所有语音站的列表。
- 在列表中的任一语音站上右击→选择“**编辑属性**”（Edit Attributes）→选中“**变化适用于所有被选对象**”（Apply Changes to Selected Objects）复选框。
- 执行前面步骤 2 中的配置变化。
- 取消选中“**视图**”（View）菜单中的“**显示网络浏览器**”（Show Network Browser），隐藏网络浏览器。

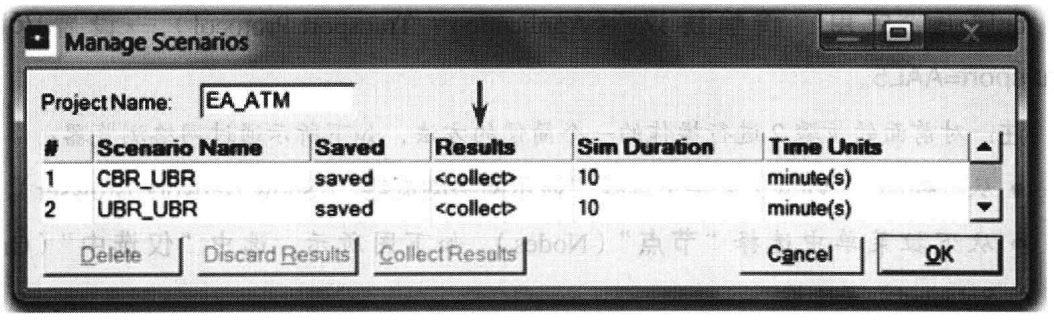


运行仿真

按以下步骤同时运行两个场景的仿真：

1）在“**场景**”（Scenarios）菜单中→选择“**管理场景**”（Manage Scenarios）。

2）把两个场景中“**结果**”（Results）栏中的值改为 <collect>（或者 <recollect>）。与下图进行比较。



3）单击“**确定**”（OK），运行两个仿真。完成这个过程可能需要几分钟，这取决于计算机的处理器速度。

4）两个仿真（一个仿真对应一个场景）运行完毕后，“**关闭**”（Close）仿真。

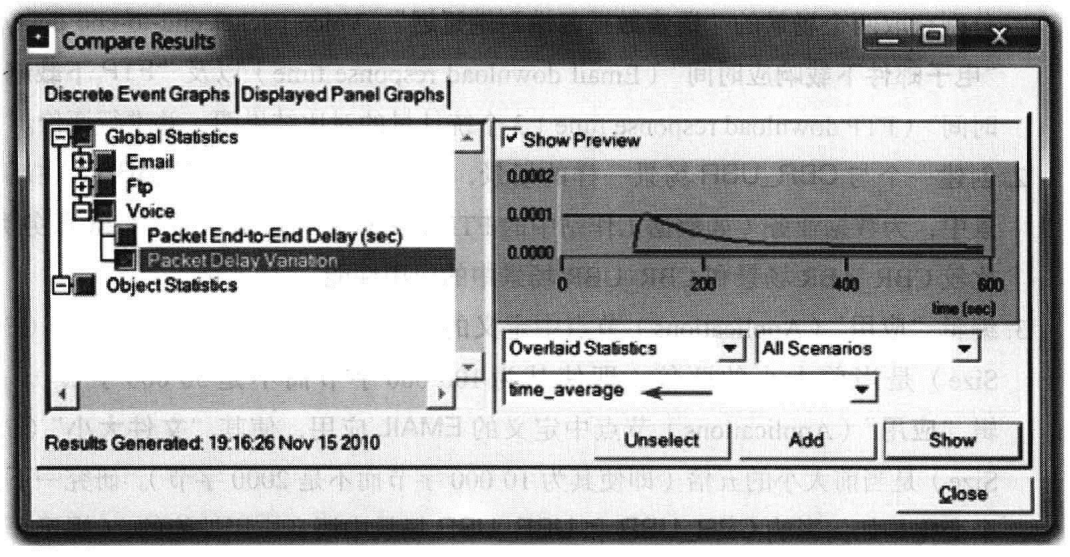
5）“**保存**”（Save）工程。

观察结果

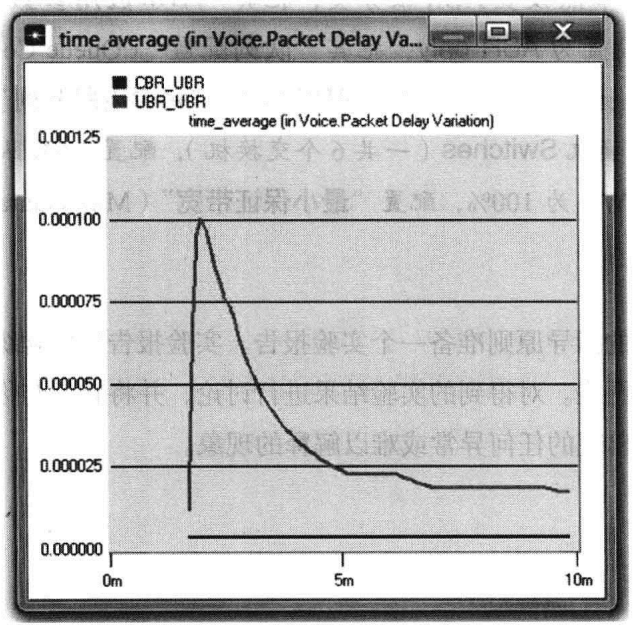
请按如下步骤，查看并且分析结果：

1）从“**结果**”（Results）菜单中选择“**比较结果**”（Compare Results）。

2）如下图所示，把“**比较结果**”（Compare Results）对话框右下方的下拉菜单中的“**保持原样**”（As Is）改为“**时间平均**”（time_average）。



3）选择“**数据包延迟抖动**”（Packet Delay Variation）统计量，单击“**显示**”（Show）按钮。结果图如下图所示。（**注**：根据节点位置的不同，结果可能有轻微变化。）



进一步阅读

OPNET ATM 模型描述：从“**协议**”（Protocols）菜单中，选择 ATM →“**模型使用手册**”（Model Usage Guide）。

练习

1. 分析我们所获得的关于“**数据包延迟抖动**”（Packet Delay Variation）的结果图。分别获取两个场景的“**语音数据包端到端延迟**”（Voice packet end-to-end delay）、“**电子邮件下载响应时间**”（Email download response time）以及“**FTP 下载响应时间**”（FTP download response time）3 个统计量的对比结果图，并进行评价。
2. 创建一个与 CBR_UBR 场景一样的场景，将其命名为 Q2_CBR_ABR。在新场景中，为数据业务（如数据工作站中的 FTP 和 EMAIL 应用）使用 ABR 服务类。比较 CBR_ABR 场景和 CBR_UBR 场景中的应用性能。
3. 编辑“**应用**”（Applications）节点中定义的 FTP 应用，使其“**文件大小**”（File Size）是当前大小的两倍（即使其为 100 000 字节而不是 50 000 字节）。编辑“**应用**”（Applications）节点中定义的 EMAIL 应用，使其“**文件大小**”（File Size）是当前大小的五倍（即使其为 10 000 字节而不是 2000 字节）。研究一下这个变化是如何影响 CBR_UBR 和 UBR_UBR 场景中语音应用性能的。（**提示**：为了回答本练习的问题，可能需要创建两个与 CBR_UBR 和 UBR_UBR 场景一样的新场景，把它们分别为其命名为 Q3_CBR_UBR 和 Q3_UBR_UBR。）

有益提示 为节点设置 ABR 服务类，把其“**ATM 应用参数**”（ATM Application Parameters）属性设置为 ABR only，把其“**队列配置**”（Queue Configuration）（“**ATM 参数**”（ATM Parameters）之一）设置为 ABR only（“**每虚电路队列**”（Per VC Queue））。对网络中的所有交换机 Switches（一共 6 个交换机），配置 ABR 队列的“**最大可用带宽**”（Max_Avail_BW）为 100%，配置“**最小保证带宽**”（Min_Guaran_BW）为 20%。

实验报告

按实验基础中的指导原则准备一个实验报告。实验报告应包含练习的答案以及在各仿真场景中生成的图表。对得到的实验结果进行讨论，并将它们与你所预期的结果进行比较，指出实验中出现的任何异常或难以解释的现象。